

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**«Απόκριση γενετικού υλικού σόγιας (*Glycine max.* (L) Merr.) σε
αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης»**



ΣΚΟΥΦΟΓΙΑΝΝΗ ΑΝΤ. ΓΕΩΡΓΙΑ

ΒΟΛΟΣ 2018

«Απόκριση γενετικού υλικού σόγιας (*Glycine max.* (L) Merr.) σε
αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης»

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια: Σκουφογιάννη Αντ. Γεωργία

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

- 1. Ουρανία Παυλή, Επικ.Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)**
Εργαστήριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών
Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος
- 2. Ιμπραχίμ – Αβραάμ Χα, Καθηγητής (Μέλος)**
Εργαστήριο Σποροπαραγωγής και Τεχνολογίας
Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος
- 3. Δαναλάτος Νικόλαος, Καθηγητής (Μέλος)**
Εργαστήριο Γεωργίας
Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Copyright © ΣΚΟΥΦΟΓΙΑΝΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος . All rights reserved.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, «Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος» του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του ΠΘ.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Την κ. Παυλή Ουρανία, Επικ. Καθηγήτρια, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, που υπήρξε επιβλέπουσα της διατριβής, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ' αρχής, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, την επιστημονική της καθοδήγηση, τις υποδείξεις της, την επιμονή της, τη συμπαράστασή της και τη συνεχή υποστήριξη που έδειξε καθ' όλη την διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας.

Τους καθηγητές, κ. Ιμπραχίμ Αβραάμ Χα και κ. Νικόλαο Δαναλάτο, για τη συμμετοχή στην Τριμελή Συμβουλευτική Επιτροπή και για τις εποικοδομητικές τους υποδείξεις στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Την κ. Μίνα Πανάγου, Μέλος ΕΔΙΠ, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος για την άψογη συνεργασία. Θα ήθελα να την ευχαριστήσω για την καθοδήγηση της, την συμπαράσταση και την ψυχολογική υποστήριξη σε όλη την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη φοιτήτρια Καραστέργιου Γεωργία για την όμορφη συνεργασία μας καθώς και τις υποψήφιες διδάκτορες Φώτη Χρύσα και Νικολέτα Μητσοπούλου για τη βοήθειά τους, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες, θέλω να εκφράσω προς την οικογένειά μου και το σύζυγό μου για όλη τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Κλείνοντας, θα ήθελα να αφιερώσω την μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης στη μονάκριβη κόρη μου Αρετή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αβιοτικές καταπονήσεις συνιστούν τους πλέον σοβαρούς περιοριστικούς παράγοντες στην ανάπτυξη και παραγωγικότητα των καλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο, προκαλώντας σημαντικές απώλειες απόδοσης και απειλώντας την οικονομική βιωσιμότητά τους. Η σόγια συγκαταλέγεται στις πλέον απαιτητικές σε εισροές καλλιεργείες ενώ παράλληλα, η επίτευξη του παραγωγικού δυναμικού της προϋποθέτει την επικράτηση άριστων εδαφοκλιματικών συνθηκών. Το γεγονός ότι βασικό πυλώνα των σύγχρονων αειφορικών συστημάτων καλλιεργείας συνιστά η μείωση των χρησιμοποιούμενων εισροών, σε συνδυασμό με τη ραγδαία μείωση των διαθέσιμων πόρων αλλά και την προοδευτική υποβάθμιση των εδαφών, καθιστά αναγκαία τη δημιουργία ποικιλιών σόγιας με αναβαθμισμένη ανθεκτικότητα και σταθερότητα της απόδοσης υπό συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων. Παρά την επιτευχθείσα πρόοδο, οι αβιοτικές καταπονήσεις εξακολουθούν να προκαλούν απώλειες απόδοσης σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ η βελτίωση του γνωρίσματος της ανθεκτικότητας εξακολουθεί να είναι μια ιδιαίτερα απαιτητική, χρονοβόρα και συχνά αναποτελεσματική προσπάθεια, η οποία εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα κατάλληλων μεθόδων επιλογής των ανθεκτικών γονοτύπων. Με δεδομένη την προφανή αναγκαιότητα εύρεσης εναλλακτικών μεθόδων για την επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων, το δυναμικό βλάστησης των σπόρων υπό συνθήκες καταπόνησης έχει προταθεί ως κριτήριο για την επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια.

Στο πλαίσιο αυτό, στόχο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η αξιολόγηση του δυναμικού βλάστησης και ανάπτυξης σποροφύτων υπό συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης ως μέσου αναγνώρισης ανθεκτικών γονοτύπων σόγιας. Προς την κατεύθυνση αυτή, αξιολογήθηκε το δυναμικό βλάστησης εννέα εμπορικών ποικιλιών σόγιας (Adonai, Neoplanta, Celina, Zora, PR92M22, P21T45, PR92M35, PR92B63, PR91M10) υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας, υψηλής αλατότητας και παρουσίας ζιζανιοκτόνου. Ειδικότερα, η καταπόνηση ξηρασίας επετεύχθη με τη χρήση του ωσμωτικά δραστικού μακρομορίου της πολυαιθυλενικής γλυκόλης (PEG-6000), η αλατότητα με τη χρήση διαλυμάτων NaCl και η καταπόνηση από την παρουσία ζιζανιοκτόνου με τη χρήση του σκευάσματος Sencor 70W που περιέχει τη δραστική ουσία metribuzin σε συγκέντρωση 70%. Απολυμασμένοι σπόροι τοποθετήθηκαν σε διάφανα πλαστικά κουτιά που περιείχαν διαλύματα διαφορετικής

συγκέντρωσης για τον παράγοντα καταπόνησης: α) PEG 6000: 0, 5, 10, 20 %, β) NaCl: 0, 50, 100, 200 mM και γ) Sencor 70WG: 0, 0.1, 1, 10, 100 mg/lit. Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών (25°C, 16 h φως/8 h σκοτάδι) για 15 ημέρες. Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό των πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων με 4 επαναλήψεις των 30 σπόρων. Κάθε επανάληψη (δοχείο) αποτελούνταν από 4 σειρές, εκ των οποίων οι 2 μεσαίες αποτέλεσαν γενετικό υλικό για τις μετρήσεις στα υπό μελέτη γνωρίσματα. Η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας βασίστηκε σε παραμέτρους που σχετίζονται με τη βλάστηση και ανάπτυξη των σποροφύτων και συγκεκριμένα, το ποσοστό βλάστησης, το ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων, το ποσοστό περιεχομένης υγρασίας των σποροφύτων, το μήκος ρίζας και βλαστού, το δείκτη ευρωστίας και το ποσοστό σπορόφυτων με μη φυσιολογικό φαινότυπο. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου JMP v. 8.

Στο σύνολό τους, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι οι υπό μελέτη καταπονήσεις επηρέασαν σημαντικά όλα τα γνωρίσματα που σχετίζονται με τη βλάστηση των σπόρων και ανάπτυξη των νεαρών σποροφύτων, με την επίδραση της καταπόνησης να είναι ανάλογη του εφαρμοζόμενου επιπέδου στρες. Ωστόσο οι υπό μελέτη ποικιλίες διαφοροποιήθηκαν σημαντικά ως προς την απόκρισή τους στα διαφορετικά είδη και επίπεδα καταπόνησης. Τα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν την υπεροχή των ποικιλιών Neoplanta, Adonai, ακολουθούμενων από τις ποικιλίες Celina και PR92M22. Είναι αξιοσημείωτο ότι η ποικιλία Neoplanta διατήρησε ικανοποιητικό ποσοστό βλάστησης και ανάπτυξης των σποροφύτων σε υψηλά επίπεδα στρες, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα καλλιέργειάς της σε ακραίες συνθήκες καταπόνησης. Αναφορικά με τα γνωρίσματα που αποτέλεσαν τη βάση αξιολόγησης της ανθεκτικότητας των ποικιλιών, το ποσοστό βλάστησης καθώς και το μήκος ρίζας και βλαστού αναδείχθηκαν ως καταλληλότερα για την ευχερή κατάταξη των ποικιλιών. Αντίθετα, το ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU), το ποσοστό περιεχομένης υγρασίας των σποροφύτων (WC) καθώς και ο δείκτης ευρωστίας (SVI) εκτιμάται ότι δεν προσφέρουν τη δυνατότητα κατάταξης των ποικιλιών με βάση την ανθεκτικότητά τους και συνεπώς δεν μπορούν να αποτελέσουν αξιόπιστα κριτήρια για την επιλογή των περισσότερο ανθεκτικών γονοτύπων.

Συμπερασματικά, τα ευρήματα παρέχουν σημαντικές ενδείξεις ότι το δυναμικό βλάστησης και ανάπτυξης μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανάδειξη της γενετικής

παραλλακτικότητας που σχετίζεται με το γνώρισμα της ανθεκτικότητας και επιπρόσθετα να αποτελέσει κριτήριο για την πρώτη επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων. Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο ότι η αξιοπιστία της προτεινόμενης προσέγγισης προϋποθέτει τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων με την αξιολόγηση του υπό μελέτη γενετικού υλικού, μέσω της εκατοστιαίας απώλειας της απόδοσης, σε συνθήκες καταπόνησης σε πειράματα αγρού. Εφόσον διαπιστωθεί η καταλληλότητά της, η προσέγγιση αυτή αναμένεται να συμβάλει στην αναβάθμιση της αποτελεσματικότητας των προγραμμάτων που στοχεύουν στη βελτίωση του γνωρίσματος της ανθεκτικότητας της σόγιας έναντι αβιοτικών καταπονήσεων.

Λέξεις κλειδιά: σόγια, αβιοτικές καταπονήσεις, ξηρασία, αλατότητα, ζιζανιοκτόνο, πρώτη επιλογή, βελτίωση για ανθεκτικότητα έναντι αβιοτικών καταπονήσεων

SUMMARY

Abiotic stresses consist the most severe limiting factors, negatively affecting growth and productivity of crop species, by reducing important yield losses and often threatening crops' economic viability. Soybean is one of the most demanding in inputs crops while at the same time, the achievement of its yield potential requires optimum soil and environmental conditions. The current need to conform with the criteria posed by sustainable agriculture, which require the reduction of inputs employed, along with the drastic reduction of available natural resources and the gradual soil degradation, render necessary the development of new soybean varieties with genetic resistance/tolerance and yield stability under abiotic stress conditions. Despite progress so far achieved, abiotic stresses still cause severe yield losses worldwide and breeding procedures tend to be laborious, time-consuming and often inefficient as they are highly depended on the availability of suitable methods for the selection of resistant genetic material. Given the obvious need to search for alternative selection methods, the germination potential under stress conditions has been proposed as criterion for the selection of resistant genotypes at early growth stages.

In this framework, this MSc dissertation is aimed at the determination of seed germination and seedling growth potential under abiotic stress conditions as a as a short-cut approach to identify resistant soybean genotypes. To this direction, the germination and growth potential of nine commercial varieties of soybean (Adonai, Neoplanta, Celina, Zora, PR92M22, P21T45, PR92M35, PR92B63, PR91M10) was assessed under conditions of drought, salinity and herbicide stress. Specifically, drought stress was achieved via the osmotically active macromolecule polyethylene glycol (PEG-6000), salinity stress through the use of NaCl solutions and herbicide stress was obtained by the use of the selective herbicide Sencor 70W which contains the active constituent metribuzin (70%). Surface-sterilized seeds were placed into plastic trays containing solutions of different concentration for the stress factor employed: a) PEG 6000: 0, 5, 10, 20 %, b) NaCl: 0, 50, 100, 200 mM and c) Sencor 70WG: 0, 0.1, 1, 10, 100 mg/lit. Plants were grown under controlled conditions (25°C, 16 h light/8 h dark) 5 for a period of 15 days. The experimental layout was that of a completely random design with 4 replications, each consisting of 30 seeds. Each experimental plot (tray) consisted of 4 rows, of which the 2 middle were used to provide material for the measurements. Evaluation of tolerance was performed on the

basis of germination percentage, seed water absorbance, seedling water content, root and shoot length, seedling vigor index and number of seedlings with abnormal phenotype. Statistical analysis was performed using JMP statistical software v. 8.

Overall findings revealed that stress substantially affects all traits associated to germination and early seedling growth, with the effect of salinity being depended on the level of stress induced. However, the genotypes under study responded differently to varying types and levels of stress. In general, findings point to the superiority of varieties Neoplanta and Adonai, followed from varieties Celina and PR92M22. It is worth noting however that variety Neoplanta proved capable of germination and seedling growth under conditions of high stress level, indicating the possibility for its cultivation under severe stress conditions. In relation to traits employed for the evaluation of resistance, germination percentage as well as root and shoot length proved as most suitable for the classification of varieties. In contrast, the traits of seed water absorbance (WU), seedling water content (WC) and seedling vigor index (SVI) did not allow the classification of varieties in terms of resistance and therefore, cannot be employed as selection criteria for the identification of most tolerant genotypes.

In conclusion, our findings provide evidence that seed germination and seedling growth potential may be readily exploited to reveal genetic variability related to abiotic stress tolerance, thus providing the possibility of their exploitation as selection criteria for the reliable identification of tolerant genotypes at early growth stages. It is worth emphasizing however that the validity of such approach requires the correlation of variety performance under laboratory and field conditions through the assessment of yield losses under conditions of abiotic stress in the field. Upon confirmation of its validity, this approach allows for the selection of desirable genotypes at early growth stages, thus enabling the conduction of breeding procedures targeted at the improvement of abiotic stress tolerance in a more time- and cost-efficient manner.

Keywords: soybean, abiotic stresses, drought, salinity, herbicide, early selection, breeding for resistance against abiotic stresses

Εγώ η Γεωργία Σκουφογιάννη είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Ως επιβλέπουσα της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι ο όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από την κα. Γεωργία Σκουφογιάννη.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή	1
1.1	Η Σόγια	1
1.2	Ταξινόμηση σόγιας	3
1.3	Βοτανική περιγραφή	4
1.4	Αύξηση και ανάπτυξη της σόγιας	7
1.5	Αναπτυξιακά στάδια σόγιας	8
1.6	Εδαφοκλιματικές συνθήκες καλλιέργειας σόγιας	12
1.7	Βιοχημική σύσταση των σπόρων σόγιας	13
1.8	Εφαρμογές σόγιας στη βιομηχανία	15
1.9	Αβιοτικές καταπονήσεις	16
1.9.1	Στάδια απόκρισης του φυτού σε αβιοτικές καταπονήσεις	17
1.9.2	Μηχανισμοί αντοχής στις καταπονήσεις	18
1.10	Υδατική καταπόνηση	20
1.11	Καταπόνηση υψηλής αλατότητας	21
1.12	Καταπόνηση από ζιζανιοκτόνο	25
1.13	Σκοπός της μελέτης	27
2	Υλικά και Μέθοδοι	28
2.1	Γενετικό Υλικό	28
2.2	Απολύμανση των σπόρων	31
2.3	Μεταχειρίσεις καταπόνησης – Πειραματικό σχέδιο	31
2.3.1	Υδατική καταπόνηση	32
2.3.2	Καταπόνηση αλατότητας	33
2.3.3	Καταπόνηση ζιζανιοκτόνου	34
2.4	Μετρήσεις	34

2.5	Στατιστική Ανάλυση	36
3	Αποτελέσματα	37
3.1	Υδατική καταπόνηση	37
3.2	Καταπόνηση υψηλής αλατότητας	49
3.3	Καταπόνηση παρουσία ζιζανιοκτόνου	60
4	Συζήτηση	71
4.1	Υδατική καταπόνηση	74
4.2	Καταπόνηση υψηλής αλατότητας	76
4.3	Καταπόνηση παρουσία ζιζανιοκτόνου	77
5	Βιβλιογραφία	79

Πίνακας 1.1: Ταξινόμηση του γένους *Glycine*.

Πίνακας 1.2: Στάδια ανάπτυξης σόγιας.

Πίνακας 1.3: Αντιπροσωπευτική σύσταση σπόρου σόγιας.

Πίνακας 3.1: Ποσοστό βλαστικότητας (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Πίνακας 3.2: Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η και 7^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Πίνακας 3.3: Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 7^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Πίνακας 3.4: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Πίνακας 3.5: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Πίνακας 3.6: Δείκτης Ευρωστίας (SVI) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 7^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Πίνακας 3.7: Ποσοστό βλαστικότητας (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Πίνακας 3.8: Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η και 7^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Πίνακας 3.9: Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 7^η, 12^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Πίνακας 3.10: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Πίνακας 3.11: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Πίνακας 3.12: Δείκτης Ευρωστίας (SVI) ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 7^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Πίνακας 3.13: Ποσοστό βλαστικότητας (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Πίνακας 3.14: Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 5^η και 7^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Πίνακας 3.15: Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 7^η και 11^η της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Πίνακας 3.16: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, και 11^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Πίνακας 3.17: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, και 11^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Πίνακας 3.18: Δείκτης Ευρωστίας (SVI) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 7^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Εικόνα 1.1: Παγκόσμια κατανομή παραγωγής σόγιας.

Εικόνα 1.2: Σχηματισμός φυματίων σε φυτά σόγιας από το βακτήριο *Rhizobium japonicum*.

Εικόνα 1.3: Φύλλα, λοβοί και ώριμοι σπόροι σόγιας.

Εικόνα 1.4: Βλάστηση και ανάπτυξη σποροφύτου σόγιας. (Α) Εμφάνιση ριζιδίου για σχηματισμό κύριας ρίζας, (Β) Ανάπτυξη δευτερευόντων ριζών, (Γ) Επιμήκυνση της ενεργής υποκοτύλης και έκπτυξη στην επιφάνεια του εδάφους, (Δ) σπορόφυτο σε όρθια θέση και (Ε) σπορόφυτο με τις κοτυληδόνες να συνδέονται με τον πρώτο κόμβο, (Ζ) καλά ανεπτυγμένο και αυτότροφο σπορόφυτο.

Εικόνα 1.5: Απεικόνιση των σταδίων ανάπτυξης της σόγιας. Ως V-στάδια ορίζονται τα βλαστικά στάδια και ως R τα αναπαραγωγικά.

Εικόνα 1.6: Απόκριση των φυτών στις καταπονήσεις. Η αλληλεπίδραση μεταξύ φυτού και παράγοντα καταπόνησης εξαρτάται από πρόσθετους παράγοντες που σχετίζονται τόσο με το φυτό όσο και με την καταπόνηση.

Εικόνα 1.7: Τα στάδια απόκρισης του φυτού στην καταπόνηση.

Εικόνα 1.8: Απόκριση των φυτών σε παράγοντες καταπόνησης - Ενεργοποίηση μηχανισμών άμυνας.

Γράφημα 3.1: Ποσοστό βλαστικότητας ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Γράφημα 3.2: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Γράφημα 3.3: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Γράφημα 3.4: Ποσοστό βλαστικότητας (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Γράφημα 3.5: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Γράφημα 3.6: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Γράφημα 3.7: Ποσοστό βλαστικότητας (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Γράφημα 3.8: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, και 11^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Γράφημα 3.9: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, και 11^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

1. Εισαγωγή

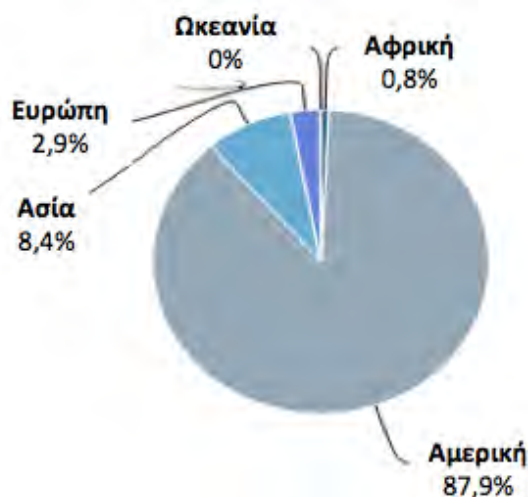
1.1 Η Σόγια

Η σόγια είναι ένα από τα αρχαιότερα καλλιεργούμενα φυτά. Είναι ετήσιο διπλοειδές φυτό ($2n = 2x = 40$) και ανήκει στην οικογένεια των ψυχανθών (Leguminosae). Είναι αυτογονιμοποιούμενο είδος και η αναπαραγωγή της σε εμπορική κλίμακα γίνεται με σπόρο (Fehr, 1989). Η σόγια, με επιστημονική ονομασία *Glycine max*, αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα είδη ψυχανθών στον κόσμο. Προέρχεται από την Ανατολική Ασία, και σήμερα καλλιεργείται ευρέως σε Αμερική, Ασία και Ευρώπη. Οι πρώτες αναφορές καλλιεργητικής δραστηριότητας σόγιας, καταγράφονται στην Κίνα 9 χιλιάδες χρόνια πριν, αργότερα εισήχθη στην Ιαπωνία, περίπου 5-7 χιλιάδες πριν. Ακολούθησαν αναφορές για την καλλιέργειά της στην Κορέα, 3 χιλιάδες χρόνια πριν (Shurtleff et al., 2013, Lee et al., 2015). Τα στοιχεία που αφορούν την καλλιέργεια της σόγιας για την αρχαιότητα, βρίσκονται στην ιερογλυφική ανάλυση της αρχαϊκής κινέζικης λέξης για τη σόγια «shu», στο βιβλίο «Ωδές» και σε ορειχάλκινες επιγραφές. Αυτά τα στοιχεία, αποδεικνύουν την εμφάνιση της σόγιας ως καλλιεργούμενο φυτό κατά τη διάρκεια της δυναστείας Chou (1100-700 π.Χ.) και περαιτέρω στοιχειοθετούν το γεγονός ότι θεωρείται ένα από τα αρχαιότερα καλλιεργούμενα είδη (Hymowitz, 1970). Η καλλιέργειά της ξεκίνησε από τη Μ. Ανατολή και σήμερα έχει εξαπλωθεί σχεδόν σε ολόκληρο τον κόσμο. Στην Ευρώπη εισήχθη στις αρχές του 17^{ου} αιώνα και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής στις αρχές του 18^{ου} αιώνα.

Η σημαντικότητα της έγκειται στο πλήθος εφαρμογών της οι οποίες είναι τεράστιας οικονομικής σημασίας, τόσο στη διατροφή ανθρώπων και ζώων, όσο και σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας. Το ενδιαφέρον για την καλλιέργεια της σόγιας οφείλεται στα δύο κύρια προϊόντα της, την πρωτεΐνη και το λάδι (Palmer and Hymowitz, 2004). Η βιομηχανοποίηση και η επεξεργασία του σπόρου της σόγιας, οφείλεται στην πλούσια σύστασή του σε έλαια και πρωτεΐνες και, παρά το γεγονός της διπλάσιας συγκέντρωσής του σε πρωτεΐνη (40%) σε σχέση με τα έλαια (20%), ανήκει στην κατηγορία των ελαιούχων καρπών και όχι των οσπρίων (σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας-FAO).

Η σόγια, ως καλλιεργούμενο προϊόν, αποτελεί μέχρι και σήμερα, ένα αναπόσπαστο κομμάτι της παραδοσιακής λαϊκής διατροφής στην Ανατολική και Νοτιοανατολική Ασία. Από το 1930 και έπειτα, ξεκίνησε η διακίνηση και εμποριών πρόσθετων προϊόντων σόγιας που απευθύνονται στη διατροφή του ανθρώπου αλλά και στη βιομηχανία υφασμάτων και παραγωγής πλαστικού (Schwarcz et al., 2004). Στη Ν. Αμερική, στην Αργεντινή, οι πρώτες αναφορές καλλιεργειών σόγιας γίνονται το 1882 (Shurtleff et al., 2012). Κατά τη διάρκεια του 1927-1931, η Αμερική έστειλε επιστήμονες στην Κίνα, την Ιαπωνία και την Κορέα ώστε να συλλέξουν γενετικό υλικό, ένα μέρος του οποίου αποτελεί μέχρι και σήμερα μητρικό υλικό στα βελτιωτικά προγράμματα (Singh, 2010). Η εταιρία Staley, το έτος 1922, δημιούργησε την πρώτη μονάδα επεξεργασίας σόγιας στο Decatur, στο Ιλινόις (Hymowitz, 1990). Στην Ευρώπη, από το 1600 στις χώρες Ισπανία και Πορτογαλία υπάρχουν ιστορικά δεδομένα που αναφέρουν τη χρήση προϊόντων σόγιας. Ωστόσο, οι πρώτες καλλιέργειες σόγιας χρονολογούνται το 1740 στη Γαλλία, ενώ το 1861 και αργότερα 1876 υπάρχει καταγεγραμμένη καλλιεργητική δραστηριότητα σόγιας στην Ελβετία και στην Αυστρία αντίστοιχα (Shurtleff et al., 2015). Στην Ελλάδα, η σόγια πρωτοεισήχθη το 1935. Η Κίνα, ήταν η μεγαλύτερη χώρα παραγωγής σόγιας το πρώτο μισό του 20ου αιώνα. Εξαιτίας του ότι η Κίνα έχει μεγάλη ιστορία στην καλλιέργειά της, ενώ παράλληλα διαθέτει πλούσιο γενετικό υλικό, το φυτό έχει εξελιχθεί κατά το πέρασμα των χρόνων μέσω της εφαρμογής φυσικών και τεχνητών επιλογών, γεγονός που καθιστά το υλικό αυτό πλούσιο και χρήσιμο γονιδιακό απόθεμα για επιλογή και ανάπτυξη σύγχρονων βελτιωμένων ποικιλιών (Singh, 2010).

Σήμερα, βάσει των δεδομένων του FAOSTAT 2016, οι μεγαλύτεροι παραγωγοί σόγιας κατά φθίνουσα σειρά είναι η Αμερική, η Βραζιλία, η Αργεντινή, η Κίνα και η Ινδία, με το 87,9% της παγκόσμιας παραγωγής σόγιας να γίνεται στο σύνολο της Αμερικής, το 8,4% στην Ασία, το 2,9% στην Ευρώπη και το 0,8% στην Αφρική (Εικόνα 1.1). Στην Ελλάδα, η σόγια καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση, ενώ τα προϊόντα της αξιοποιούνται κυρίως για παραγωγή βιοντίζελ και ζωοτροφή.



Εικόνα 1.1: Παγκόσμια κατανομή παραγωγής σόγιας.

(Πηγή: FAOSTAT 2016)

1.2 Ταξινόμηση σόγιας

Το όνομα *Glycine* αρχικά παρουσιάστηκε από τον Λινναίο (Linnaeus), στην πρώτη έκδοση του *Genera Plantarum*, ενώ το νέο αυτό γένος βασίστηκε στο *Apios* of Boerhaave (Linnaeus, 1737). Το γένος *Glycine*, προέρχεται από την ελληνική λέξη glykys (γλυκύς), πιθανότατα σχετίζεται με τη γλυκύτητα των εδώδιμων ριζών που παράγονται από το *Apios* (Henderson, 1881). Στην καλλιεργούμενη σόγια αποδόθηκε η ονομασία *Glycine max* από το Merrill το 1917 (Πίνακας 1.1).

Το γένος *Glycine* Willd χωρίζεται σε δύο υπογένη: το *Glycine* Willd (πολυετές) και το *G. Soja* (Moench) F.J. Herm (ετήσιο). Στο υπογένος *Glycine* συγκαταλέγονται 26 άγρια πολυετή είδη ενδογενή της Αυστραλίας, που παρουσιάζουν διαφορές σε επίπεδο μορφολογίας, κυτταρογενετικής και γονιδιώματος (Chung and Singh, 2008). Τα είδη *Glycine canescens* F.J. Herm. και *G. tomentella* Hayata έχουν αναφερθεί στην Αυστραλία και στην Παπούα Νέα Γουινέα και είναι πολυπλοειδή ($2n = 4x = 80$) (Hymowitz, 1995, Newell and Hymowitz, 1983). Επίσης, τα είδη αυτά χαρακτηρίζονται από ευρεία προσαρμοστικότητα σε ποικίλες κλιματικές και εδαφικές συνθήκες και παρουσιάζουν ευρεία γεωγραφική κατανομή (Singh and Hymowitz, 1999). Το υπογένος *Soja*, περιλαμβάνει δύο είδη, την καλλιεργούμενη σόγια *Glycine max* (L.) Merr. ($2n = 2x = 40$) και τον ετήσιο άγριο πρόγονό της *Glycine soja* (L.) Sieb. and Zucc. ή *G. ussuriensis* ($2n = 2x = 40$). Η *Glycine soja* (παλαιότερα γνωστή

ως *G. ussuriensis*) θεωρείται ως το προγονικό είδος του *Glycine max* και έχει αναφερθεί σε Κίνα, Ιαπωνία, Κορέα, Ταϊβάν και Ρωσία (Singh et al., 2006). Τα εν λόγω είδη παρουσιάζουν ικανοποιητική συμβατότητα και οι διασταυρώσεις τους παράγουν γόνιμα υβρίδια, γεγονός που υποδηλώνει τη στενή γενετική τους συγγένεια (Singh and Hymowitz, 1988).

Πίνακας 1.1: Ταξινόμηση του γένους *Glycine*.

Βασίλειο	Plantae
Υπό-βασίλειο	Tracheobionta
Υπό-διαίρεση	Spermatophyta
Διαίρεση	Magnoliophyta
Τάξη	Magnoliopsida
Υπό-κλάση	Rosidae
Σειρά	Fabales
Οικογένεια	Fabaceae
Γένος	<i>Glycine</i> Willd
Είδος	<i>Glycine max</i> (L.) Mer

Μελέτες γονιδιωματικής ανάλυσης κατέδειξαν ότι η σόγια υπήρξε τετραπλοειδές είδος, που αργότερα εξελίχθηκε σε διπλοειδές (Hadley and Hymowitz, 1973). Το υπογένος *Soja*, πιστεύεται ότι έχει περιοχές αναδιπλασιασμένου γονιδιώματος και αναφέρεται ως αρχαίο πολυπλοειδές είδος (Soltis et al., 1993). Τα είδη του υπογένους *Soja* (άγρια και καλλιεργούμενη) έχουν 40 χρωμοσώματα. Κάποια είδη του υπογένους *Glycine*, έχουν είτε 40 ή 80 χρωμοσώματα.

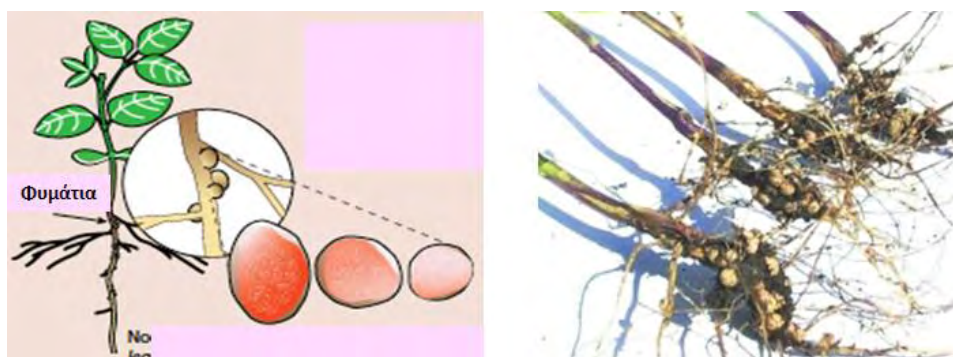
1.3 Βοτανική περιγραφή

Η καλλιεργούμενη σόγια, *Glycine max* (L.) Merr., είναι ένα διπλοειδές ($2n = 40$) είδος, ανήκει στην οικογένεια Leguminosae, υπό-οικογένεια Papilionoideae, tribe Phaseoleae, γένος *Glycine* Wild και υπογένος *Soja* (Moench). Είναι ορθόκλαδο, θαμνώδες ετήσιο φυτό, που μπορεί να φτάσει σε ύψος το 1,5 μέτρο. Τα φυτά των περισσότερων ποικιλιών καλύπτονται από τριχίδια (Magness et al., 1971).

Η σόγια διαθέτει 4 τύπους φύλλων: τις κοτυληδόνες, τα απλά φύλλα, τα σύνθετα φύλλα και τα πρόφυλλα (Τόλης, 1989). Οι κοτυληδόνες χαρακτηρίζονται ως

αποθήκες των θρεπτικών συστατικών μέχρι την εγκατάσταση του σπορόφυτου και τη δημιουργία των πρώτων πραγματικών φύλλων και εμφανίζονται την 3^η-4^η ημέρα μετά τη σπορά. Όταν τα θρεπτικά αποθέματα εξαντληθούν, κιτρινίζουν και πέφτουν (Hinson and Hartwig, 1977). Τα πρώτα φύλλα είναι απλά, αντίθετα και ωοειδή και είναι τα πρώτα πραγματικά φύλλα του φυτού, αποτελούνται από ένα φυλλάριο (έλασμα) και ο μίσχος τους φέρει στη βάση του δυο παράφυλλα. Τα σύνθετα φύλλα, είναι τρίφυλλα και εναλλασσόμενα και εκφύονται στο στέλεχος και στις διακλαδώσεις του φυτού, ένα σε κάθε γόνατο. Ενώ, τα πρόφυλλα, είναι πολύ μικρά απλά φύλλα που βρίσκονται στη βάση κάθε πλευρικού κλάδου και στο κάτω μέρος του ποδίσκου του άνθους (Hicks, 1978). Στομάτια, υπάρχουν και στις δυο επιφάνειες των φύλλων.

Το μήκος της κύριας ρίζας φτάνει ως τα 2 μέτρα και οι πλευρικές ρίζες φτάνουν μέχρι 40-75εκ. Το 75% των ριζών βρίσκεται στα πρώτα 30εκ. του εδάφους (Mayaki et al., 1976). Τα ριζικά τριχίδια συνεχίζουν να αναπτύσσονται και στις νεαρές ρίζες καθώς το ριζικό σύστημα διαπερνά το έδαφος (Hicks, 1978). Από την κύρια ρίζα, αναπτύσσονται οι δευτερεύουσες ρίζες. Στις ρίζες σχηματίζονται τα φυμάτια που προκαλούνται από το βακτήριο *Rhizobium japonicum*, τα οποία εμφανίζονται στο βασικό τμήμα της κύριας ρίζας κατά τα πρώτα βλαστικά στάδια (συνήθως στο V2) και παραμένουν ενεργά για 6-7 βδομάδες (Whigham, 1983) (Εικόνα 1.2). Το βακτήριο προσκολλάται στις ρίζες και εκεί δημιουργεί αποικίες, σχηματίζοντας τα φυμάτια. Όταν η διάμετρος των φυματίων φτάσει περίπου τα 2mm, ξεκινά η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου (N_2) και η μετατροπή του σε αμμωνιακό (NH_4^+), μια μορφή διαθέσιμη για τα φυτά (Sato et al., 2001).



Εικόνα 1.2: Σχηματισμός φυματίων σε φυτά σόγιας από το βακτήριο *Rhizobium japonicum*.

Ο κύριος βλαστός είναι κυλινδρικός, με ύψος συνήθως γύρω στα 75εκ., μπορεί όμως να φτάσει και τα 150εκ., συχνά χνουδωτός και το χρώμα του είναι χαρακτηριστικό της ποικιλίας. Οι κατώτεροι κόμβοι με την αύξηση του φυτού γίνονται ξυλώδεις.

Ο λοβός της σόγιας είναι ευθύς ή ελαφρώς κυρτωμένος. Το μήκος του λοβού κυμαίνεται από 2-7εκ. και αποτελείται από δυο καρπόφυλλα, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους (Carlson and Lersten, 1987) (Εικόνα 1.3). Αποκτά το μέγιστο μήκος περίπου 20-25 ημέρες μετά την άνθηση και ο αριθμός των λοβών σε μια απλή ταξιανθία κυμαίνεται από 2-20 και σε όλο το φυτό έως 400 λοβούς (Τόλης, 1989). Ο αριθμός των λοβών ανά φυτό, καθορίζεται κατά το αρχικό στάδιο ανάπτυξης των λοβών και αυτό το στάδιο χαρακτηρίζεται από τη διαίρεση των κυττάρων στα νεαρά ωάρια και την ταχεία έκπτυξη των λοβών (Liu et al., 2004). Οι λοβοί συνήθως περιέχουν 2-4 σπόρους (Magness et al., 1971), το σχήμα του σπόρου είναι κυρίως στρόγγυλο, αλλά μπορεί να διαφέρει ανάλογα την ποικιλία από σφαιρικό έως πεπλατυσμένο καθώς ωριμάζει και εμφανίζεται απώλεια της υγρασίας. Ο γονότυπος και το περιβάλλον επηρεάζουν σημαντικά το τελικό μέγεθος των σπόρων (Whigham, 1983).



Εικόνα 1.3: Φύλλα, λοβοί και ώριμοι σπόροι σόγιας.

Τα άνθη, εκφύονται σε ταξιανθίες από τις μασχάλες των φύλλων σε ομάδες των 3-15 ανθέων (Acquaah, 2007). Το χρώμα τους διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία (λευκά ή μωβ). Κάθε άνθος έχει 3-4 ωάρια. Αποτελούνται από ένα σωληνωτό κάλυκα, με 5 λοβοειδή σέπαλα, μια στεφάνη με 5 πέταλα, έναν ύπερο και 10 στήμονες. Οι 9 στήμονες είναι ενωμένοι σχηματίζοντας ένα δακτύλιο στη βάση του στίγματος και επιμηκύνονται μια ημέρα πριν από τη γονιμοποίηση και ο ένας στήμονας παραμένει ελεύθερος. Ο αριθμός των ανθέων σε κάθε μασχάλη, επηρεάζεται από τη θέση της

επάνω στο φυτό και από διάφορους κλιματολογικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η εδαφική υγρασία (Παπακώστα, 2005). Μόνο το 20-40% των ανθέων δίνει λοβούς (Egli and Crafts-Brandner, 1996). Το άνθος είναι κλειστόγαμο, με την αυτογονιμοποίηση να συμβαίνει λίγο πριν ή λίγο μετά το άνοιγμα του άνθους. Η αποβολή της γύρης, εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία. Υπό θερμές συνθήκες (πάνω από 30° C), η γύρη ελευθερώνεται πριν τις 7-9 το πρωί. Οι ψυχρές θερμοκρασίες, μειώνουν την απελευθέρωση της γύρης και συχνά προκαλούν πρόωμη αυτοεπικονίαση των ανθέων (Acquaah, 2007).

1.4 Αύξηση και ανάπτυξη της σόγιας

Εντοπίζονται τρεις τύποι ανάπτυξης στις ποικιλίες της σόγιας: ο καθορισμένος, ο ημι-καθορισμένος και ο ακαθόριστος (Bernard and Weiss, 1973). Ο καθορισμένος τύπος ανάπτυξης, χαρακτηρίζεται από τη διακοπή της βλαστικής δραστηριότητας του ακραίου οφθαλμού όταν δημιουργείται η ταξιανθία και στις μασχάλες των φύλλων και στα ακραία άνθη. Αυτός ο τύπος ανάπτυξης έχει συνήθως λιγότερα γόνата ανά φυτό και έχει μικρότερο ύψος κατά την ωρίμανση (Whigham, 1983). Οι γονότυποι με ημι-καθορισμένη ανάπτυξη, έχουν αόριστα στελέχη και εμφανίζουν απότομη διακοπή της βλαστικής ανάπτυξης αμέσως μετά την ανθοφορία. Αυτός ο τύπος ανάπτυξης, περιλαμβάνει πολλά χαρακτηριστικά ενδιάμεσα από τον καθορισμένο και τον ακαθόριστο τύπο ανάπτυξης. Ο ακαθόριστος τύπος ανάπτυξης, συνεχίζει τη βλαστική δραστηριότητα καθ' όλη τη διάρκεια της άνθησης. Στην κορυφή των φυτών, η δομή των ανθέων και των φύλλων είναι μικρότερη και οι λοβοί είναι λιγότεροι σε αριθμό, σε σύγκριση με τον καθορισμένο τύπο ανάπτυξης. Γενικά, σε αυτόν τον τύπο ανάπτυξης τα φυτά είναι ψηλότερα, έχουν περισσότερα γόνата ανά φυτό και τείνουν να πλαγιάζουν περισσότερο, όταν οι συνθήκες ευνοούν την ταχεία βλαστική ανάπτυξη (Whigham, 1983).

Τα φυτά είναι ευαίσθητα στη φωτοπερίοδο και συνεπώς, η μετάβαση από το βλαστικό στο αναπαραγωγικό στάδιο εξαρτάται από το μήκος της ημέρας. Η φωτοπερίοδος και η θερμοκρασία ελέγχουν τη διάρκεια των σταδίων πριν και μετά την άνθηση. Μεγάλη φωτοπερίοδος, καθυστερεί την έναρξη της άνθησης και επιβραδύνει το ρυθμό ανάπτυξης των ανθικών καταβολών (Kantolic and Slafer, 2007). Καθυστέρηση της σποράς κατά λίγες εβδομάδες, συχνά οδηγεί σε κατά το

ήμισυ μείωση του μήκους του στελέχους και της συσσώρευσης ξηράς ουσίας του φυτού στο στάδιο ανάπτυξης R1. Σημαντική επίσης είναι η άριστη πυκνότητα φύτευσης, ενώ όταν η βλάστηση των σπόρων δεν είναι ικανοποιητική, η πυκνότητα φύτευσης πρέπει να αυξηθεί (Fehr et al., 1971).

1.5 Αναπτυξιακά στάδια σόγιας

Η ανάπτυξη της σόγιας διαιρείται σε 2 βασικά στάδια: (i) Βλαστικό στάδιο, που περιλαμβάνει και τη φάση βλάστησης και φυτρώματος του σπόρου και (ii) Αναπαραγωγικό στάδιο, που περιλαμβάνει την καταβολή των ανθέων, την άνθηση, τη γονιμοποίηση και το στάδιο ωρίμασης των καρπών και των σπόρων. (Fehr and Caviness, 1977) (Πίνακας 1.2). Το στάδιο ωρίμασης καταλήγει στο γήρας και στον θάνατο του φυτού. Ωστόσο, σε πολλά φυτά τα στάδια αυτά δεν παρουσιάζουν σαφή χρονική διάκριση.

Τα αναπτυξιακά στάδια της σόγιας είναι πλήρως προσδιορισμένα. Ειδικότερα, το βλαστικό στάδιο (V) αριθμείται σύμφωνα με τον αριθμό των πλήρως ανεπτυγμένων τριφύλλων, ενώ το αναπαραγωγικό στάδιο (R) αρχίζει κατά την ανθοφορία και συνεχίζει με τη καρποφορία φυτών και την ωρίμανση. Την έναρξη νέου σταδίου ανάπτυξης σηματοδοτεί η φάση κατά την οποία τουλάχιστον το 50% των φυτών πληρούν τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης που έχουν οριστεί.

Πίνακας 1.2: Στάδια ανάπτυξης σόγιας.

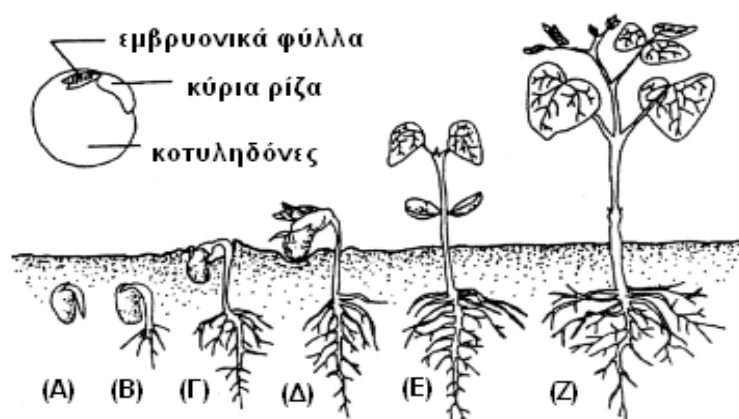
Βλαστικά στάδια ανάπτυξης		
VE	Βλάστηση	Εμφάνιση νεαρών σποροφύτων με τις κοτυληδόνες
VC	Κοτυληδόνες	Πλήρης ανάπτυξη κοτυληδόνων
V1	Πρώτο γόνατο (node)	Εμφάνιση πρώτου γονάτου και πλήρης ανάπτυξη πρώτων φύλλων
V2	Δύο γόνατα	2 γόνατα στο κύριο στέλεχος με πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα
Vn		Τα βλαστικά στάδια συνεχίζονται (Vn) μέχρι εμφάνιση πρώτου άνθους
Αναπαραγωγικά στάδια ανάπτυξης		

R1	Έναρξη άνθησης	Εμφάνιση τουλάχιστον ενός άνθους στο κύριο στέλεχος
R2	Πλήρης άνθηση	Άνθη και στα δύο τελευταία γόνατα του κύριου στελέχους
R3	Έναρξη σχηματισμού λοβών	Μήκος λοβών περίπου 4,8mm
R4	Πλήρης ανάπτυξη λοβών	Μήκος λοβών περίπου 19mm
R5	Έναρξη σχηματισμού σπόρων	3,2mm μήκος
R6	Πλήρης γέμισμα σπόρων	Λοβοί έχουν γεμίσει με σπόρους
R7	Έναρξη ωρίμανσης	Εμφάνιση τουλάχιστον ενός ώριμου λοβού στο κύριο στέλεχος
R8	Πλήρης ωρίμανση	95% των λοβών έχουν χρώμα καφέ

(Πηγή: McWilliams D.A., Berglund D.R., Endres G.J. 1999. *Soybean growth and management Quick Guide. North Dakota State University*)

Βλαστικό στάδιο

Οι σπόροι σόγιας βλαστάνουν λίγες μέρες μετά τη σπορά και η εμφάνιση των σποροφύτων γίνεται περίπου 7-10 μέρες μετά (VE), όταν η εδαφική υγρασία και η θερμοκρασία είναι άριστες. Μετά την ανάπτυξη των κοτυληδόνων, κάνουν την εμφάνισή τους τα πρώτα φύλλα (VC) (Εικόνα 1.4). Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, τα θρεπτικά αποθέματα στις κοτυληδόνες συμβάλλουν στη θρέψη του φυτού, για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και των βλαστών. Έπειτα, κάνουν την εμφάνισή τους τα τρίφυλλα φύλλα (V1, V2, Vn). Το βλαστικό στάδιο, ξεκινά από την εμφάνιση των σποροφύτων στον αγρό έως το στάδιο R5, όπου αναπτύσσονται οι βλαστοί και το ριζικό σύστημα (Egli and Leggett, 1973). Στην εικόνα 1.5 αποδίδονται σχηματικά τα στάδια ανάπτυξης της σόγιας.



Εικόνα 1.4: Βλάστηση και ανάπτυξη σποροφύτου σόγιας. (Α) Εμφάνιση ριζιδίου για σχηματισμό κύριας ρίζας, (Β) Ανάπτυξη δευτερευόντων ριζών, (Γ) Επιμήκυνση της ενεργής υποκοτύλης και έκπτυξη στην επιφάνεια του εδάφους, (Δ) σπορόφυτο σε όρθια θέση και (Ε) σπορόφυτο με τις κοτυληδόνες να συνδέονται με τον πρώτο κόμβο, (Ζ) καλά ανεπτυγμένο και αυτότροφο σπορόφυτο.

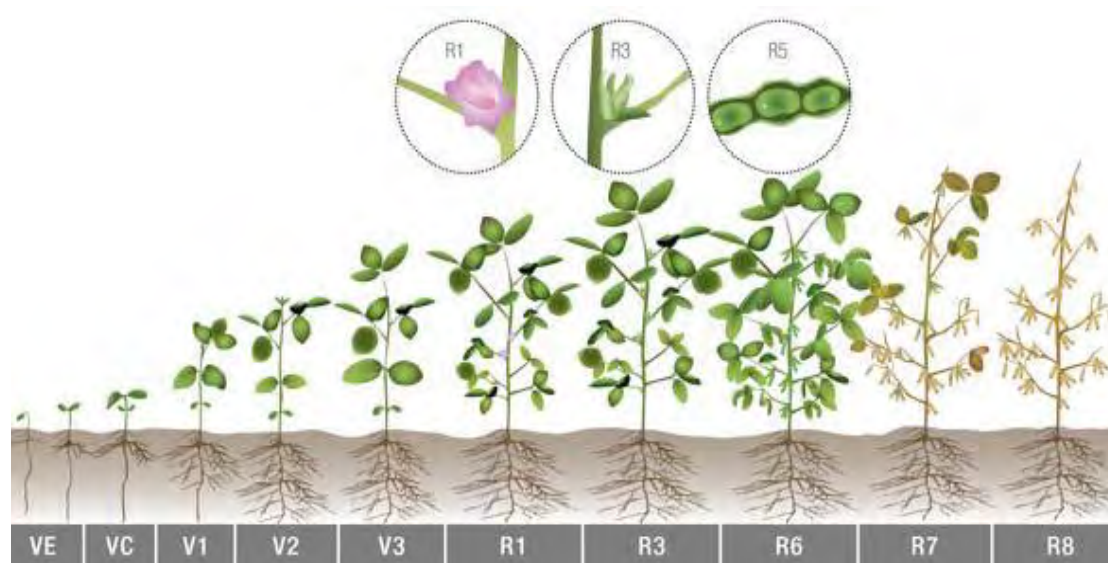
(Πηγή: Nelson and Larson, 1984)

Αναπαραγωγικό στάδιο

Το αναπαραγωγικό στάδιο ξεκινά από την έναρξη της άνθησης (R1). Η σόγια είναι φυτό μικρής φωτοπεριόδου και ανθίζει όταν η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη των 14 ωρών, παρόλο που αυτό εξαρτάται από την ποικιλία και την ημερομηνία σποράς. Η περίοδος της άνθησης μπορεί να διαρκέσει 3-5 βδομάδες (Carlson and Lersten, 1987), και η πλήρης άνθηση παρατηρείται στο R2 στάδιο. Μετά τη γονιμοποίηση του άνθους, οι λοβοί αναπτύσσονται αργά τις πρώτες μέρες και σταδιακά αυξάνεται ο ρυθμός ανάπτυξής τους, μέχρι οι λοβοί να φτάσουν το μέγιστο μήκος τους, 15-20 ημέρες μετά (Whigham, 1983). Η εμφάνιση των λοβών ξεκινά (R3) περίπου ένα μήνα μετά το R1 στάδιο. Ο σπόρος ξεκινά να μεγαθύνεται (R5 στάδιο) και γεμίζει πλήρως στο R6 στάδιο (Board and Tan, 1995). Η ωρίμανση λαμβάνει χώρα κατά το R7 στάδιο, και χρονολογείται περίπου ένα μήνα μετά το R5 στάδιο. Το στάδιο R7, ξεκινά όταν ένας λοβός του κύριου μίσχου αποκτά καφέ ώριμο χρώμα, οπότε αρχίζει και η ξήρανση των σπόρων. Όταν το 95% των λοβών έχουν φθάσει στο ώριμο χρώμα τους, η σόγια θεωρείται ότι βρίσκεται στο στάδιο πλήρους ωρίμανσης R8, το οποίο χρονολογείται δύο ή τρεις εβδομάδες μετά το R7 στάδιο. Στο στάδιο αυτό, το φυτό ξηραίνεται και είναι έτοιμο για συγκομιδή. Συνήθως,

απαιτούνται 5-10 ημέρες μετά το R8 στάδιο ώστε να φτάσει σε υγρασία συγκομιδής, η οποία θα πρέπει να είναι κάτω από 15%.

Ωστόσο, στον καθορισμένο και ημι-καθορισμένο τύπο ανάπτυξης, η βλαστική ανάπτυξη συνεχίζεται και μετά το R1 στάδιο. Η βλαστική ανάπτυξη των στελεχών και του φυλλώματος συνεχίζεται μέχρι το R5 στάδιο.



Εικόνα 1.5: Απεικόνιση των σταδίων ανάπτυξης της σόγιας. Ως V-στάδια ορίζονται τα βλαστικά στάδια και ως R τα αναπαραγωγικά.

(Πηγή: Πανεπιστήμιο του Ιλινόις 1999).

Κατά την ωρίμανση της σόγιας διακρίνονται δυο στάδια: η φυσιολογική ωρίμανση και η πλήρης ωρίμανση (Κατράνης, 1989). Στη φυσιολογική ωρίμανση, όλοι οι λοβοί έχουν κίτρινο χρωματισμό και τουλάχιστον ένας λοβός στο κύριο στέλεχος του φυτού έχει καφέ χρωματισμό. Σε αυτό το στάδιο η υγρασία των σπόρων κυμαίνεται γύρω στο 50%. Ακολουθεί η πλήρης ωρίμανση, όπου πραγματοποιείται περίπου 10-15 ημέρες αργότερα. Στην πλήρη ωρίμανση, οι σπόροι στους λοβούς έχουν λιγότερο από 15% υγρασία, είναι στρογγυλοί και έχουν σκληρύνει.

1.6 Εδαφοκλιματικές συνθήκες καλλιέργειας σόγιας

Η σόγια είναι φυτό των θερμών-εύκρατων κλιμάτων, βραχείας φωτοπεριόδου. Με την εντατική βελτιωτική προσπάθεια όμως δημιουργήθηκαν ποικιλίες οι οποίες μπορούν να καλλιεργηθούν σε υψόμετρο από 0 έως 3000 m και διάρκεια ημέρας από 12 έως 16 ώρες. Η μεγαλύτερη όμως εμπορική καλλιέργεια της σόγιας γίνεται μεταξύ 25 και 45° C με γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο μικρότερο από 1000m. Σε θερμοκρασία αέρα 21-32°C, το φύτευμα συντελείται σε 3-5 ημέρες. Στην Ελλάδα, τέτοιες θερμοκρασίες παρατηρούνται συνήθως μετά το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Απριλίου έως και τα μέσα Μαΐου (συνιστώμενη περίοδος ανοιξιάτικης σποράς). Η σπορά όμως μπορεί να πραγματοποιηθεί και μετά τη συγκομιδή της κύριας χειμερινής καλλιέργειας (επίσπορη καλλιέργεια).

Ελάχιστη θερμοκρασία για ικανοποιητικό φύτευμα είναι οι 10-15° C, ανάλογα με την ποικιλία, αν και μπορεί να βλαστήσει και σε κάπως χαμηλότερη θερμοκρασία. Χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του φυτώματος καθυστερούν την ανάπτυξη των φυτών και μπορεί να επιταχύνουν την άνθηση. Ο παγετός καταστρέφει τα φυτά σε όλα τα στάδια ανάπτυξης.

Καλύτερη μέση θερμοκρασία ανάπτυξης είναι οι 28-30° C. Τόσο οι υψηλές όσο και οι χαμηλές θερμοκρασίες κατά την αναπαραγωγική περίοδο, είναι επιζήμιες. Θερμοκρασίες μικρότερες από 24° C καθυστερούν την άνθηση και μεγάλες περίοδοι συννεφιάς επιμηκύνουν τη βλαστική περίοδο σε βάρος της απόδοσης σε καρπό. Σε θερμοκρασίες μικρότερες από 15° C, σχηματίζονται λοβοί απόρριψης των ανθέων και κακής γονιμοποίησης. Σε υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρείται απόρριψη ανθέων και λοβών και το φαινόμενο είναι εντονότερο όταν οι υψηλές θερμοκρασίες συνδυάζονται με ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις σε φως, διακρίνονται ποικιλίες βραχείας και ουδέτερης φωτοπεριόδου. Οι απαιτήσεις του φυτού σε νερό κυμαίνονται από 500 έως 1000 mm (βροχόπτωση και άρδευση) και εξαρτώνται από το είδος του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες, τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου και το επίπεδο απόδοσης της καλλιεργούμενης ποικιλίας. Η σόγια κατατάσσεται στα ευαίσθητα στην ξηρασία φυτά. Οι ανάγκες της σε νερό είναι μικρές κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης και την ωρίμανση και αυξημένες κατά τη διάρκεια της άνθησης και του γεμίσματος των

σπόρων. Επιβλαβή επίδραση στην ανάπτυξη και απόδοση της σόγιας έχει και η κατάκλιση του εδάφους με νερό.

Οι υψηλότερες αποδόσεις λαμβάνονται στα πηλώδη γόνιμα εδάφη. Στα αμμώδη εδάφη, οι αποδόσεις δεν είναι σταθερές, ενώ στα αργιλώδη δυσκολεύεται το φύτευμα. Μπορεί να καλλιεργηθεί σε εδάφη με pH=5,8-7,0, το άριστο pH όμως κυμαίνεται περί το 6-6,5. Στα όξινα εδάφη, μειώνεται η δραστηριότητα των αζωτοδεσμευτικών βακτηριών και η διαθεσιμότητα σε Mg και Ca. Εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα βορίου επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση. Τέλος, η σόγια κατατάσσεται στα φυτά με μέτρια αντοχή στην αλατότητα του εδάφους.

1.7 Βιοχημική σύσταση των σπόρων σόγιας

Η σόγια [*Glycine max* (L.) Merr.] είναι μια σημαντική καλλιέργεια λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των σπόρων σε πρωτεΐνη και εδωδιμο έλαιο. Οι σπόροι της βρίσκονται κοντά στο άριστο διατροφικό προφίλ αμινοξέων για την ανθρώπινη κατανάλωση και για ζωοτροφή (Πίνακας 1.3) (Lusas, 2004).

Πίνακας 1.3: Σύσταση σπόρου σόγιας.

Τμήμα σπόρου	(%) βάρους του σπόρου	% (Υγρασία)			
		Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Υδατάνθρακες	Τέφρα
		N x 6.25		(+ Φυτικές ίνες)	
Κοτυληδόνες	90	43	23	43	5.0
Ουλή	8	9	1	86	4.3
Υποκοτύλη	2	41	11	43	4.4
Ολόκληρος	100	40	20	35	4.9

(Πηγή: Cheftel et al., 1985)

Ο σπόρος της σόγιας αποτελείται από τρία μέρη: το φλοιό ή περίβλημα, τις κοτυληδόνες και τον άξονα του εμβρύου (επικοτύλιο-υποκοτύλιο-ριζίδιο). Επί ξηρού βάρους, ο φλοιός αποτελεί το 8-10% του βάρους του, οι κοτυληδόνες το 88-91% και ο άξονας του εμβρύου το 2% . Ο σπόρος είναι πλούσιος σε πρωτεΐνες και σε έλαια και ειδικότερα, τα δύο αυτά συστατικά συνιστούν το 60% περίπου του βάρους του σπόρου και εντοπίζονται κυρίως στις κοτυληδόνες (Dixit et al., 2011). Η σύσταση

των σπόρων παρουσιάζει παραλλακτικότητα και εξαρτάται από την ποικιλία και τις συνθήκες ανάπτυξης. Μέσω βελτίωσης, καθίσταται εφικτή η αύξηση της περιεχόμενης πρωτεΐνης στο 40% και 45%, και επίπεδων λιπιδίων 18-20%, με την περιεκτικότητα πρωτεΐνης και λιπιδίων να παρουσιάζει αντίστροφη σχέση.

Πρωτεΐνες: Το 35-40% του ξηρού βάρους των σπόρων της σόγιας αποτελείται από πρωτεΐνη, των οποίων, το 90% αποτελείται από δύο σφαιρίνες, την 11S γλυκινίνη και την 7S β-κονγλυκινίνη (Sugano et al., 2006, Saio et al., 1986). Αυτές οι πρωτεΐνες περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα για την ανθρώπινη διατροφή και καθιστούν τα προϊόντα σόγιας σχεδόν ισοδύναμα με ζωικές πηγές πρωτεΐνης σε ποιότητα, αλλά με λιγότερα κορεσμένα λίπη και χοληστερόλη (Birt et al., 2004).

Έλαια: Η σόγια παρέχει το 57% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιόσπορου, ανάμεσα στα ελαιοδοτικά φυτά (ελαιοκράμβη, βαμβακόσπορος, φιστίκι, ηλιοτρόπιο), (Soystats, 2013). Η περιεκτικότητα των σπόρων σόγιας σε έλαια κυμαίνεται περί το 19%, από τα οποία τα τριγλυκερίδια είναι το κύριο συστατικό. Το σογιέλαιο χαρακτηρίζεται από σχετικά μεγάλες ποσότητες πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA). Κύρια λιπαρά οξέα συνιστούν το λινολεϊκό, λινολενικό, ελαϊκό, παλμιτικό και στεαρικό οξύ (Töpfer and Martini, 1994). Ειδικότερα, διαθέτουν 55% λινολεϊκό οξύ και 8% α-λινολενικό οξύ, εκ του συνόλου των λιπαρών οξέων. Το λινολεϊκό οξύ αποτελεί ένα απαραίτητο λιπαρό οξύ που ανήκει στην οικογένεια των ω-6 PUFAs και κατέχει σημαντική διατροφική αξία, ενώ το α-λινολενικό οξύ ανήκει στη κατηγορία των απαραίτητων 3-ω λιπαρών οξέων και παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση ποικίλων μεταβολικών οδών. Σε μικρότερες συγκεντρώσεις απαντώνται ορισμένα φωσφολιπίδια (λεκιθίνη), καθώς και φυτοστερόλες και τοκοφερόλες (Dixit et al., 2011). Οι σύγχρονες ποικιλίες σόγιας περιέχουν 8,3-50,3 ελαϊκό οξύ (USDA, ARS, National Genetic Resources Program, 2014).

Υδατάνθρακες: Η περιεκτικότητα των σπόρων σε υδατάνθρακες κυμαίνεται περί το 35%, με σημαντικό ποσοστό αυτών να συγκαταλέγονται στους μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες. Επίσης, περιέχει, σε μικρότερα ποσοστά, ορισμένους ολιγοσακχαρίτες όπως η σταχυόζη (4%) και η ραφινόζη (1,1%) (Grieshop et al., 2003).

Βιταμίνες και Μέταλλα: Οι σπόροι της σόγιας είναι ιδιαίτερα πλούσιοι σε Β-βιταμίνες, αν και στερούνται βιταμίνης B12 και βιταμίνης C (Liu, 1997). Επίσης, το σογιέλαιο περιέχει τοκοφερόλες (Liu, 1997; Sugano et al. 2006), που θεωρούνται εξαιρετικά φυσικά αντιοξειδωτικά, καθώς και μέταλλα, και ειδικότερα K, P, Ca, Mg, και Fe, σε ποσοστό 5% (Sugano et al., 2006).

Η σόγια συνιστά πλούσια πηγή πρόσθετων συστατικών όπως ισοφλαβόνες (έως 3 mg/g ξηρού βάρους) και συγκεκριμένα τις γενιστεΐνη, νατνζείνη και γλυκιτεΐνη (Kudou et al., 1991). Τέλος, το σογιέλαιο περιέχει σημαντικές ποσότητες φυτικών στερολών (300-400mg/100g), όπως η β-σιτοστερόλη (53 έως 56%), η καμπεστερόλη (20 σε 23%) και η στιγμαστερόλη (17 έως 21%) (Ozawa et al., 2001) καθώς και φωσφολιπιδίων (1-3%), στα οποία συγκαταλέγονται η φωσφατιδυλοχολίνη (35%), η φωσφατιδυλαιθανολαμίνη (25%), η φωσφατιδυλινωσιτόλη (15%) και το φωσφατιδικό οξύ (5-10%) (Liu et al, 1997; Sugano et al., 2006).

1.8 Εφαρμογές σόγιας στη βιομηχανία

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται συνεχής αύξηση της παραγόμενης ποσότητας σόγιας με τη μεγάλη ζήτησή της να οφείλεται στα δύο κύρια προϊόντα της, την πρωτεΐνη και τα έλαια, που χρησιμοποιούνται ποικιλοτρόπως τόσο στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων, ενώ παράλληλα βρίσκουν εφαρμογή σε ποικίλους τομείς στη βιομηχανία. Η πρωτεΐνη της σόγιας, εκτός από τη θρεπτική αξία έχει και εφαρμογές στην ιατρική. Πρόσφατες μελέτες αναφέρουν, ότι η κατανάλωση τροφών με βάση τη σόγια μειώνει τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου, χοληστερόλης, οστεοπόρωσης και καρδιακών νοσημάτων (Birt et al., 2004). Η σόγια είναι σημαντική πηγή ιχνοστοιχείων, βιταμίνης B, φολικού οξέος και ισοφλαβόνων, όπου έχει αποδειχθεί ότι επιβραδύνουν την ανάπτυξη διαφόρων ασθενειών (Wilson, 2004). Το λάδι της σόγιας είναι ένα εδώδιμο φυτικό έλαιο που χρησιμοποιείται σε πολλά εξευγενισμένα έλαια/λιπαρά προϊόντα. Επιπρόσθετα, η σόγια περιέχει φερριτίνη, η οποία αποτελεί πρωτεΐνη αποθήκευσης σιδήρου (Lonnerdal et al., 2009).

Παράλληλα, η σόγια έχει αρκετές χρήσεις και εφαρμογές στη βιομηχανία, όπως σε δομικά υλικά, πλαστικά, τσιμέντο, απολυμαντικά, χαρτί, λάδια μηχανών, μελάνι εκτύπωσης, μπογιές, παρασιτοκτόνα, καλλυντικά και φαρμακευτικά προϊόντα (Lusas, 2004). Τα φωσφολιπίδια, ένα παραπροϊόν του επεξεργασμένου σογιέλαιου,

διατίθενται στο εμπόριο ως λεκιθίνες και εφαρμόζονται σε γαλακτωματοποιητές, διαβρεκτικές ουσίες και αντιοξειδωτικά (Smith, 1989).

Τέλος, από τα τέλη δεκαετίας 1970, τα λιπαρά οξέα του σογιέλαιου χρησιμοποιούνται για παραγωγή βιοντίζελ (έχει καλύτερη καύση και μικρότερη μόλυνση περιβάλλοντος). Ενδεικτικό είναι ότι το 2012 καταναλώθηκαν λιπαρά οξέα σογιέλαιου στην Αμερική 4,162.5εκ. λίτρα (<http://soystats.com/biodiesel-u-s-production-history/>).

1.9 Αβιοτικές καταπονήσεις

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα φυτά πλήττονται από πληθώρα παραγόντων αβιοτικής καταπόνησης, με αποτέλεσμα να περιορίζεται δραστικά η ανάπτυξη και παραγωγικότητά τους, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις καθίσταται αδύνατη η καλλιέργειά τους λόγω δυσμενών εδαφοκλιματικών συνθηκών. Στους αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης συγκαταλέγονται οι ακραίες θερμοκρασίες (υψηλή ή χαμηλή), η περίσσεια ή έλλειψη νερού, η υψηλή αλατότητα, η περίσσεια ιόντων, βαρέων μετάλλων, αέριων ρύπων και βιοκτόνων (χημικές), η συσσώρευση ενεργών μορφών οξυγόνου (οξειδωτικές), η επίδραση ανέμου, βαρύτητας, ήχου, μαγνητικών πεδίων, συμπίεσης (μηχανικές) και τέλος η έκθεση σε υπέρυθρη, ορατή, υπεριώδη και ιοντίζουσα ακτινοβολία.

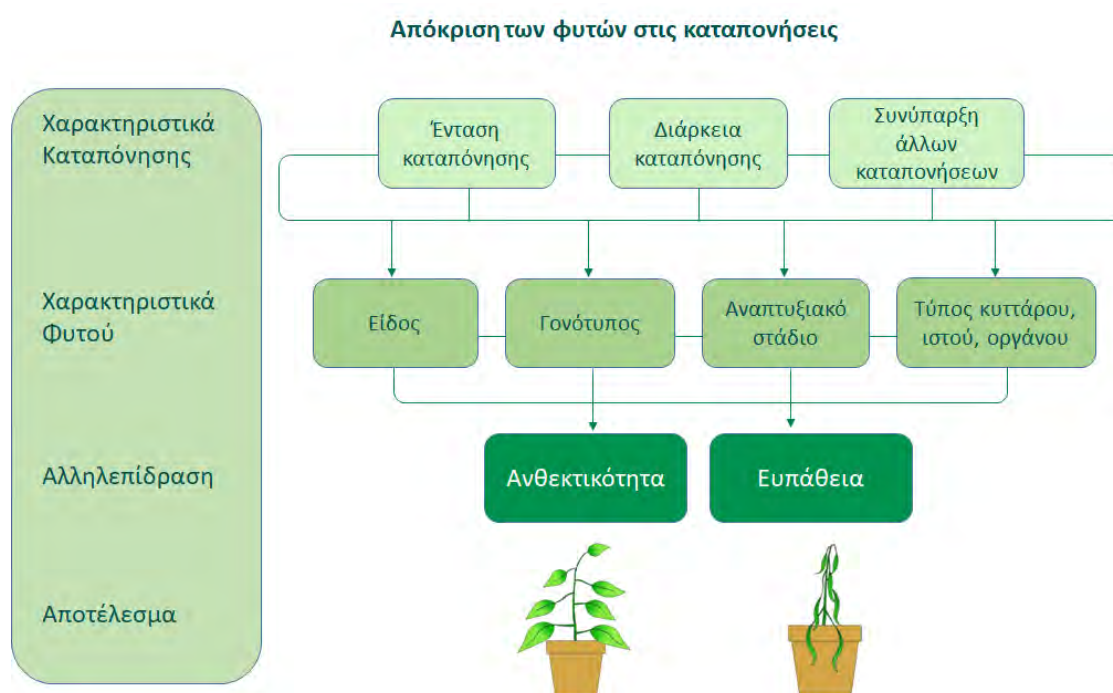
Οι πλέον επιζήμιες αβιοτικές καταπονήσεις, βάσει των αλλαγών που προκαλούν στις μοριακές, βιοχημικές, φυσιολογικές και μορφολογικές αντιδράσεις των φυτών είναι: η οξειδωτική καταπόνηση, η έλλειψη επαρκούς εδαφικής υγρασίας, η υψηλή αλατότητα, η υψηλή θερμοκρασία, ο παγετός, η περίσσεια νερού που μπορεί να προκαλέσει ανοξία ή υποξία και η παρουσία βαρέων μετάλλων ή άλλων επιβλαβών ξενοβιοτικών ουσιών.

Οι περιβαλλοντικές καταπονήσεις δημιούργησαν συνθήκες ισχυρής επιλεκτικής πίεσης που συντέλεσαν στην προσαρμογή και την επιβίωση των φυτών στις δυσμενείς συνθήκες. Η προσαρμογή των φυτών στις διάφορες καταπονήσεις υποδηλώνει ότι οι φυτικοί οργανισμοί είναι ικανοί να προσλαμβάνουν και να μεταφέρουν τα περιβαλλοντικά σήματα, και στη συνέχεια να μεταβάλλονται με τρόπο που οδηγεί σε αναβάθμιση της προσαρμοστικότητάς τους. Αυτές οι μεταβολές

ενδέχεται να είναι παροδικές ή μόνιμες, οπότε και κληρονομήσιμες στις επόμενες γενεές. (Souza και Sodek 2003; Renault et al., 2010).

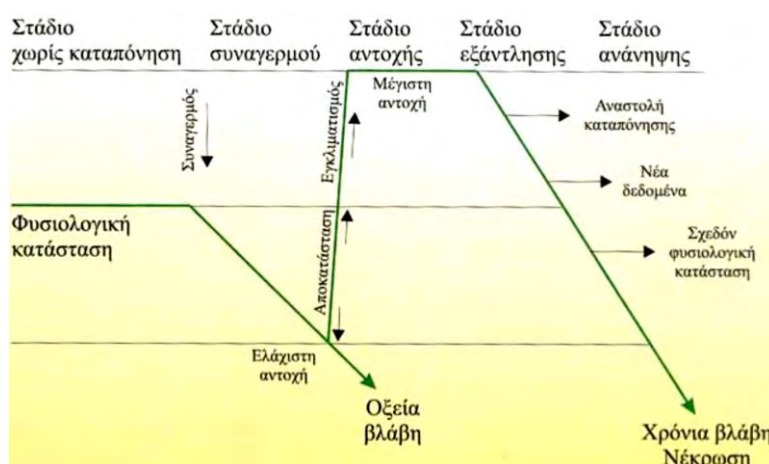
1.9.1. Στάδια απόκρισης του φυτού σε αβιοτικές καταπονήσεις

Η απόκριση των φυτών σε δυσμενή περιβάλλοντα διαφέρει σημαντικά μεταξύ των ειδών αλλά και μεταξύ των γονοτύπων του ίδιου είδους. Πέραν της γονοτυπικής εξάρτησης, η ικανότητα αντίδρασης των φυτών επηρεάζεται σημαντικά από τη γενικότερη κατάσταση υγείας και θρέψης του φυτού, το αναπτυξιακό στάδιο, το φυτικό όργανο ή ιστό αλλά και από πληθώρα άλλων παραγόντων που σχετίζονται με το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται. Έτσι, καθοριστικό ρόλο παίζει η συχνότητα, η διάρκεια και η ένταση έκθεσης του σε συνθήκες καταπόνησης καθώς και από κάθε συνεργιστικό αποτέλεσμα έκθεσης σε πολλαπλούς παράγοντες καταπόνησης. (Εικόνα 1.6) .



Εικόνα 1.6: Απόκριση των φυτών στις καταπονήσεις. Η αλληλεπίδραση μεταξύ φυτού και παράγοντα καταπόνησης εξαρτάται από πρόσθετους παράγοντες που σχετίζονται τόσο με το φυτό όσο και με την καταπόνηση.

Ο Lichtenthaler (1996) πρότεινε τέσσερα εμπειρικά στάδια για την απόκριση του φυτού στην καταπόνηση. Το πρώτο εμπειρικό στάδιο είναι το στάδιο συναγερμού (alarm stage). Κατά, το στάδιο αυτό, ο μεταβολισμός αποκλίνει από την κανονική πορεία του και το φυτό οδηγείται σε οξεία βλάβη, εφόσον δεν κατέχει μηχανισμούς προκειμένου να περάσει στο επόμενο στάδιο της αντοχής. Το δεύτερο στάδιο, της αντοχής (resistance), αφορά σε μια γενική αναδιάταξη με διάφορες συνιστώσες που σχετίζονται με τη βασική άμυνα του φυτού. Ακολουθεί το στάδιο της εξάντλησης ή τελικό στάδιο (exhaustion), κατά το οποίο η υπερβολική ένταση της καταπόνησης προκαλεί χρόνια βλάβη και τελικά νέκρωση των κυττάρων. Τέλος, το στάδιο ανάνηψης ή αναγέννησης (regeneration), αφορά σε μερική ή ολοκληρωτική επαναφορά των φυσιολογικών λειτουργιών σε κανονικά επίπεδα, εφόσον η καταπόνηση ανασταλεί και εφόσον οι βλάβες είναι αναστρέψιμες. Στην Εικόνα 1.7 περιγράφονται τα στάδια απόκρισης του φυτού στην καταπόνηση.



Εικόνα 1.7: Τα στάδια απόκρισης του φυτού στην καταπόνηση.

(Πηγή: “Φυσιολογία Φυτών – από το μόριο στο περιβάλλον”, επιμέλεια Κ.Α. Ρουμπελάκη- Αγγελάκη, 2003)

1.9.2 Μηχανισμοί αντοχής στις καταπονήσεις

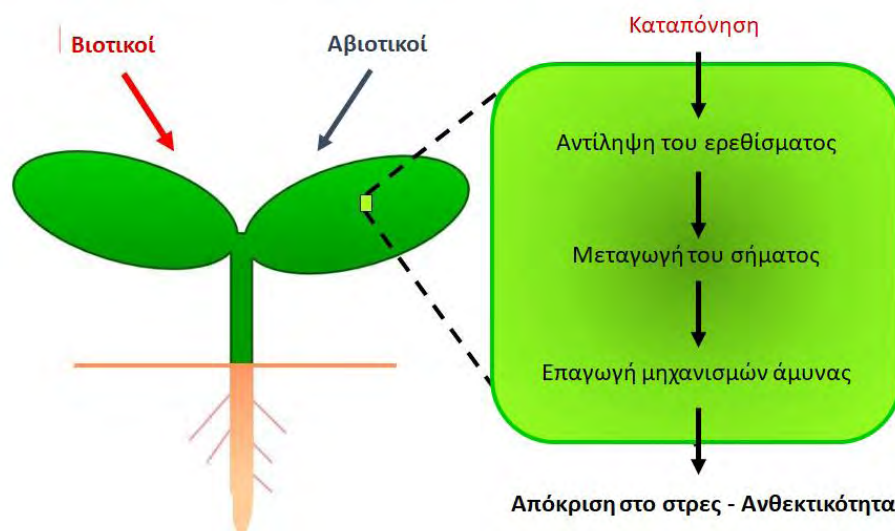
Τα φυτά που αναπτύσσονται σε συνθήκες αγρού υπόκεινται σε ποικίλες αβιοτικές καταπονήσεις, ενώ συχνά καλούνται να αντιμετωπίσουν δύο ή και περισσότερους παράγοντες καταπόνησης, όπως η ξηρασία και η υψηλή αλατότητα, που δρουν ταυτόχρονα. Προκειμένου να ανταπεξέλθουν έναντι των καταπονήσεων, τα φυτά έχουν αναπτύξει, μέσω της εξελικτικής διαδικασίας, ποικίλους μηχανισμούς άμυνας

ή/και προσαρμογής, που συμβάλουν στην εξασφάλιση της επιβίωσής τους. Οι μηχανισμοί άμυνας είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον και αποτελούν προϊόντα συνεξέλιξης που έχουν διαμορφωθεί υπό τη δράση της φυσικής επιλογής και παρουσιάζουν σημαντική εξειδίκευση σε επίπεδο φυτικού είδους και γονοτύπου.

Ως απόκριση στις καταπονήσεις έχουν αναπτυχθεί διαφορετικοί αμυντικοί οδοί που διακρίνονται στους μηχανισμούς αποφυγής (escape), διαφυγής (avoidance) και αντοχής (tolerance). Οι μηχανισμοί αποφυγής, αφορούν σε προσαρμογές με τις οποίες τα φυτά αποφεύγουν τις δυσμενείς συνθήκες, είτε ολοκληρώνοντας το βιολογικό τους κύκλο πριν την έναρξη της καταπόνησης είτε εισέρχονται σε λήθαργο κατά τη διάρκειά της. Οι μηχανισμοί διαφυγής αφορούν σε στρατηγικές που οδηγούν σε παρεμπόδιση της επίδρασης της καταπόνησης σε κυτταρικό επίπεδο ή σε μείωση της έκθεσης του φυτού στις καταπονήσεις. Οι μηχανισμοί ανοχής επιτρέπουν στο φυτό να επέλθει σε φυσιολογική ισορροπία με την καταπόνηση και να ανεχθεί την αρνητική επίδραση της καταπόνησης, χωρίς ωστόσο να διακυβεύεται άμεσα η επιβίωση του φυτού.

Στους μηχανισμούς αντοχής διακρίνονται τρεις κατηγορίες: (i) εγγενείς (constitutive), (ii) προσαρμογής (adaptive) και (iii) εγκλιματισμού (acclimation, hardening). Οι εγγενείς μηχανισμοί αφορούν σε δομικά προϋπάρχοντα χαρακτηριστικά, τα οποία εκφράζονται ανεξαρτήτως της ύπαρξης καταπόνησης. Οι μηχανισμοί προσαρμογής είναι εξειδικευμένες μακροχρόνιες αντιδράσεις που αφορούν σε τροποποιήσεις που λαμβάνουν χώρα σε βιοχημικό και φυσιολογικό επίπεδο. Οι μηχανισμοί εγκλιματισμού είναι ταχείες αντιδράσεις μεταβολισμού και αύξησης που λαμβάνουν χώρα σε μεταβολές περιβάλλοντος, συνήθεις και βραχυχρόνιες και αποσκοπούν στη διατήρηση της ομοιόστασης του φυτού και στην αύξηση του αναβολισμού του.

Σε όλες τις περιπτώσεις, καθοριστικό ρόλο παίζει η ικανότητα των φυτικών κυττάρων να αναγνωρίζουν το ερέθισμα-παράγοντα καταπόνησής τους καθώς και η επακόλουθη μεταγωγή του σήματος που αποσκοπεί τελικά στην ενεργοποίηση των διαθέσιμων μηχανισμών άμυνας (Εικόνα 1.8).



Εικόνα 1.8: Απόκριση των φυτών σε παράγοντες καταπόνησης - Ενεργοποίηση μηχανισμών άμυνας.

1.10 Υδατική καταπόνηση

Η ξηρασία αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη και παραγωγικότητα πολλών σημαντικών καλλιεργούμενων ειδών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ξηρασία ή ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας μπορεί να είναι χρόνια σε περιοχές με χαμηλή διαθεσιμότητα νερού ή παροδική και τυχαία, λόγω μεταβολών στις κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Συνθήκες ξηρασίας επικρατούν στο 40% περίπου της χέρσου του πλανήτη, ενώ εποχικό ή τοπικό περιορισμό στη διαθεσιμότητα νερού υφίσταται ένα σημαντικό ποσοστό ξηράς (Harb et al., 2010). Οι επιπτώσεις της ξηρασίας αναμένεται να ενταθούν λόγω της κλιματικής αλλαγής αλλά και της συνεχούς μείωσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Βάσει των ανωτέρω, είναι προφανές ότι στο πλαίσιο της αειφορικής γεωργίας το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει δικαιολογημένα στραφεί προς την αξιόπιστη επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων αλλά και την ανάπτυξη βελτιωμένων για το γνώρισμα της ανθεκτικότητας ποικιλιών (Rosegrant and Cline, 2003).

Η ξηρασία είναι μια πολυδιάστατη μορφή καταπόνησης που επηρεάζει τα ανατομικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτικών οργάνων και παράλληλα συνδέεται με σημαντικές μεταβολές σε πληθώρα βιοχημικών μονοπατιών. Ως ξηρασία ορίζεται το

συνδυαστικό αποτέλεσμα της υδατικής ανεπάρκειας (από την ατμόσφαιρα ή/και από το έδαφος) και των έντονων απωλειών νερού, μέσω εξατμισοδιαπνοής.

Η υδατική καταπόνηση εμφανίζεται είτε ως αφυδάτωση (συμπτώματα ξηρασίας), είτε ως ωσμωτική καταπόνηση (συμπτώματα αλατότητας). Κοινό χαρακτηριστικό στις δύο στρεσογόνες καταστάσεις είναι η διαμόρφωση χαμηλού δυναμικού του νερού στους φυτικούς ιστούς που έχει ως αποτέλεσμα την αφυδάτωση των κυττάρων και τελικά οδηγεί σε ωσμωτικό στρες. Ειδικότερα, όταν η πτώση του ωσμωτικού δυναμικού του εδάφους φθάσει σε τιμές περισσότερο αρνητικές από εκείνες του φυτού, προκαλείται στα κύτταρα ωσμωτική καταπόνηση, δηλαδή δυσχέρεια απορρόφησης νερού από το έδαφος και αύξηση της συγκέντρωσης ανόργανων ιόντων. Η άμεση απόκριση των φυτών έναντι της ξηρασίας και της αλατότητας παρουσιάζει επίσης ομοιότητες, αλλά διαφέρει ως προς το αποτέλεσμα που επιφέρει η ιοντική τοξικότητα κατά το στρες αλατότητας (Zhang et al., 2014).

1.11 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Τα τελευταία χρόνια, η καταπόνηση υψηλής αλατότητας έχει αναδειχθεί ως ένας από τους πλέον σοβαρούς περιοριστικούς παράγοντες για την απόδοση των καλλιεργειών. Η αλατότητα του εδάφους εκτιμάται ότι επηρεάζει περίπου 7% της χέρσου του πλανήτη (Rozema and Flowers 2008) και το 20% της παγκόσμιας γεωργικής γης (FAO, 2000), με αποτέλεσμα την απώλεια σημαντικού μέρους της καλλιεργήσιμης γης. Η αυξημένη αλατότητα αναμένεται να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στην παγκόσμια γεωργία καθώς αναμένεται απώλεια καλλιεργήσιμης γης της τάξης του 30% και 50% εντός των επόμενων 25 ετών και έως και τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, αντίστοιχα (Wang et al., 2003). Η υψηλή αλατότητα επηρεάζει την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα πολλών σημαντικών καλλιεργούμενων ειδών, ενώ παράλληλα καθιστά πλήρως απαγορευτική την καλλιέργεια ευαίσθητων στο στρες αλατότητας ειδών (Neto and Nogueira, 1999; Kaya et al., 2007; Zheng et al., 2008; Turkan and Demiral, 2009; Galvan-Ampudia and Testerink, 2011).

Η αλατότητα παράγει υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων (κυρίως Na⁺ και Cl⁻), στη ριζόσφαιρα, οδηγώντας έτσι σε σημαντική μείωση του δυναμικού νερού. Ως αποτέλεσμα, η αλατότητα έχει διπλή επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών,

ενεργώντας είτε ως αναστολέας της πρόσληψης νερού από τα κύτταρα, μέσω οσμωτικής δράσης, είτε ως συσσωρευτής ιόντων Na⁺ και Cl⁻, με τοξικές επιδράσεις που συνδέονται με αυτά (Bewley and Black 1982). Παράλληλα, η αυξημένη συσσώρευση ιόντων μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του εδάφους και συγκεκριμένα προκαλεί μείωση του πορώδους και του αερισμού καθώς και μεταβολή στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος.

Τα αυξημένα επίπεδα αλατότητας στο έδαφος εμποδίζουν την απορρόφηση νερού από το φυτό (Carillo et al., 2005) και περιορίζουν τη διαδικασία της διαπνοής στα φύλλα (Neumann, 1997). Η καταπόνηση αλατότητας μειώνει την πρόσληψη και τη μεταφορά των νιτρικών αλάτων (Carillo et al., 2005; Surabhi et al., 2008; Maaroufi-Dguimi et al., 2011) με αποτέλεσμα τη μη σωστή αφομοίωση του αζώτου, το οποίο καθίσταται απαραίτητο για την πρωτεϊνική σύνθεση (Silveira et al., 2001; 2003; Qu et al., 2011). Κατά τη βλάστηση, η αλατότητα περιορίζει την απορρόφηση του νερού των σπόρων και ταυτόχρονα προκαλεί τοξικές επιδράσεις στους βλαστάνοντες σπόρους, λόγω αυξημένης συσσώρευσης ιόντων Na⁺ και Cl⁻ (Murillo et al., 2002; Khajeh et al., 2003). Για το λόγο αυτό, το στρες αλατότητας επηρεάζει δραστικά τη βλάστηση καθώς και την ανάπτυξη των σποροφύτων.

Παράλληλα, προκαλεί μια σειρά αλλαγών στο μεταβολισμό των φυτών, μέσω της τοξικότητας των ιόντων και του οσμωτικού στρες (Mittler, 2002). Στην καταπόνηση αλατότητας παρατηρείται συσσώρευση Asn (Ashraf and Harris 2004) και Gaba (Bolarin et al., 1995). Το στρες αλατότητας μπορεί να προκαλέσει αρκετές μεταβολικές αλλαγές στα φυτά όπως η υπεροξειδωση των λιπιδίων, η μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη, η αύξηση της δραστηριότητας ROS και της αντιοξειδωτικής ενζύμης (Monteiro et al., 2011).

Οι ενεργές μορφές οξυγόνου (ROS) παράγονται συνήθως στο κύτταρο και μπορούν να δράσουν ως σήματα σε αρκετές οδούς μεταγραφής, οδηγώντας σε τροποποιημένα πρότυπα γονιδιακής έκφρασης που επιτρέπουν στο φυτό να προσαρμόζεται στις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες (Dutilleul et al., 2003; Foyer and Noctor 2005a, 2005b; Gratao et al., 2005; Noctor 2006; Mhamdi et al., 2010; Queval et al., 2011). Ωστόσο, το στρες μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των ROS, προκαλώντας την οξείδωση των λιπιδίων, των πρωτεϊνών και του DNA,

επηρεάζοντας δυσμενώς την ανάπτυξη του φυτού (Dutilleul et al., 2003; Foyer and Noctor 2005; Gratao et al., 2005; Gomes-Júnior et al. 2007).

Οι ασθένειες που προκαλούνται από την καταπόνηση αλατότητας στα φυτικά κύτταρα προκύπτουν ως αποτέλεσμα των ακόλουθων διεργασιών (Shilpi Mahajan and Narendra Tuteja, 2005) :

1) Διαταραχή της ιοντικής ισορροπίας: Η εισροή Na^+ διαλύει το δυναμικό της μεμβράνης και διευκολύνει την πρόσληψη του Cl^- .

(2) Το Na^+ είναι τοξικό για το μεταβολισμό των κυττάρων και έχει επιβλαβή επίδραση στη λειτουργία μερικών ενζύμων (Niu, Bressan and Hasegawa, 1995).

(3) Υψηλές συγκεντρώσεις Na^+ προκαλούν οσμωτική ανισορροπία, αποδιοργάνωση των μεμβρανών, μείωση στην ανάπτυξη και αναστολή της κυτταρικής διαίρεσης.

(4) Τα υψηλά επίπεδα Na^+ οδηγούν επίσης στη μείωση της φωτοσύνθεσης και της παραγωγής ενεργών μορφών οξυγόνου (Flowers, Troke and Yeo, 1977; Greenway and Munns, 1980; Yeo, 1998).

Όταν η αυξημένη συγκέντρωση του νατρίου (Na^+) καθίσταται επιβλαβής για την ανάπτυξη των φυτών, το K^+ είναι ένα από τα βασικά στοιχεία και απαιτείται από το φυτό σε μεγάλες ποσότητες.

Ρόλος του Ca^{+2} σε σχέση με το στρες αλατότητας

Έχει αποδειχθεί τα ιόντα Ca^{+2} , παρέχουν προστατευτικό ρόλο έναντι των ιόντων Na^+ στα φυτά. Το εξωτερικά παρεχόμενο Ca^{+2} μειώνει τα τοξικά αποτελέσματα του NaCl , πιθανώς διευκολύνοντας την ακριβέστερη εκλεκτικότητα K^+ / Na^+ (Cramer, et al., 1987; Lauchli and Schubert, 1989, Liu and Zhu, 1998). Η υψηλή αλατότητα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κυτοσολικού Ca^{+2} που μεταφέρεται από τον αποπλάστη και από τα ενδοκυτταρικά διαμερίσματα (Knight H., Trewavas A.J., Knight M.R., 1997). Αυτή η παροδική αύξηση στο κυτοσολικό Ca^{+2} αποτελεί το έναυσμα για τη μεταγωγή σήματος καταπόνησης που οδηγεί σε προσαρμογή στην αλατότητα. Το σηματοδοτικό μονοπάτι SOS (Salt Overly Sensitive) έχει ως αποτέλεσμα τον αποκλεισμό περίσσειας ιόντων Na^+ από το κύτταρο και βοηθά στην

αποκατάσταση της ιοντικής ομοιόστασης των κυττάρων (Hongtao et al., 2013). Η ανακάλυψη των γονιδίων *SOS* άνοιξε το δρόμο για την αποσαφήνιση μιας νέας οδού που συνδέει την σηματοδότηση Ca^{+2} σε απόκριση στο στρες αλατότητας (Zhu, Liu and Xiong, 1998; Zhu, 2002).

Συσσώρευση οσμωπροστατευτικών συστατικών ως απόκριση στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Ως απόκριση στο οσμωτικό στρες και στην απώλεια ενδοκυτταρικού νερού, που συντελείται κατά την καταπόνηση αλατότητας, τα φυτά συσσωρεύουν μεταβολίτες με ωσμωρυθμιστική και οσμωπροστατευτική δράση. Οι μεταβολίτες αυτοί, γνωστοί ως οσμωλύτες ή «συμβατές διαλυτές ουσίες» (compatible solutes) είναι πολικές, υδατοδιαλυτές ενώσεις που δεν επεμβαίνουν στις λοιπές μεταβολικές διεργασίες καθώς δεν παρουσιάζουν τοξικότητα, ακόμη και σε υψηλά επίπεδα συσσώρευσης (Flowers et al., 1977; Wyn Jones et al., 1977; Yancey, 2005). Ο ρόλος του έχει συνδεθεί με την οσμωτική ρύθμιση, ωστόσο οι μεταβολίτες αυτοί εμπλέκονται και σε άλλες διεργασίες, όπως η μεταβολή των ιδιοτήτων του νερού ως διαλύτη, η σταθεροποίηση του εσωτερικού οσμωτικού δυναμικού, η αύξηση της θερμοδυναμικής σταθερότητας των πρωτεϊνών και η δομική προστασία των μακρομορίων (Yancey, 2005). Η οσμωπροστατευτική ιδιότητα έγκειται στο γεγονός ότι ορισμένοι εκ των οσμωλυτών παρέχουν προστασία των κυττάρων έναντι των βλαβών λόγω αφυδάτωσης (Slama et al., 2015).

Συχνά παρατηρούμενοι μεταβολίτες με οσμωλυτική δράση είναι τα σάκχαρα, κυρίως η φρουκτόζη και η σακχαρόζη, οι αλκοόλες σακχάρων και πολύπλοκα σάκχαρα όπως η τρεαλόζη και οι φρουκτάνες. Επιπλέον, συσσωρεύονται πολικοί μεταβολίτες όπως η προλίνη, η γλυκίνη, η βεταΐνη και η εκτοΐνη (Delauney and Verma, 1993; Louis and Galinski, 1997; McCue and Hanson, 1990). Το νερό μετακινείται από το υψηλό στο χαμηλό δυναμικό και η συσσώρευση αυτών των οσμωλυτών καθιστά το δυναμικό νερού χαμηλό μέσα στο κύτταρο, αποτρέποντας την ενδοκυτταρική απώλεια νερού (Shilpi Mahajan and Narendra Tuteja, 2005).

1.12 Καταπόνηση από ζιζανιοκτόνο

Οι καλλιέργειες με αντοχή στα ζιζανιοκτόνα, glyphosate και glyphosate, καταλαμβάνουν σταθερά τη μεγαλύτερη έκταση των βιοτεχνολογικών καλλιεργειών (www.isaaa.org). Οι πρώτες ποικιλίες σόγιας με αντοχή στα ζιζανιοκτόνα (sulfonylurea) εμφανίστηκαν στο εμπόριο το 1993, ενώ το 1996 ξεκίνησε η διακίνηση ποικιλιών σόγιας “Roundup Ready”, επιτρέποντας την εφαρμογή του glyphosate (Roundup) σαν μεταφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο. Αργότερα, το 1998 εμφανίστηκαν οι ποικιλίες σόγιας “Liberty Link” οι οποίες είχαν αντοχή στο ζιζανιοκτόνο glyphosate (Carpenter and Gianessi, 1999). Η αντοχή των καλλιεργειών στο glyphosate και glyphosate είναι συνιστούν τις περισσότερες εμπορικές εφαρμογές της αγροβιοτεχνολογίας. Πρόσφατα στη Βραζιλία, εγκρίθηκε η εμπορική διάθεση μιας νέας ποικιλίας γενετικά τροποποιημένης σόγιας (CV 127), η οποία έχει αντοχή στα χημικά ζιζανιοκτόνα της ομάδας των imidazolinone (Rech et al., 2008).

Η γενετική αντοχή των φυτών στα ζιζανιοκτόνα, επιτυγχάνεται είτε εισάγοντας ένα γονίδιο που κωδικοποιεί το «ένζυμο-στόχο» το οποίο είναι ευαίσθητο στο συγκεκριμένο ζιζανιοκτόνο (Padgett et al., 1996), είτε εισάγοντας ένα γονίδιο που κωδικοποιεί ένα ένζυμο το οποίο μεταβολίζει το ζιζανιοκτόνο (Devine, 2005).

Η Σόγια "Roundup Ready"

Το Roundup είναι ένα διασυστηματικό, μη εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο για την καταπολέμηση ετήσιων και πολυετών (αγρωστωδών, πλατύφυλλων ζιζανίων) και υδροχαρών ζιζανίων και ξυλωδών φυτών. Απορροφάται από τα φύλλα και τους τρυφερούς βλαστούς των ζιζανίων και παρεμποδίζει το ένζυμο EPSPS (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase, shikimic acid pathway) αναστέλλοντας την βιοσύνθεση των αρωματικών αμινοξέων, που είναι απαραίτητα για την καλλιέργεια και την επιβίωση των φυτών.

Η συντριπτική πλειοψηφία των καλλιεργούμενων γενετικώς τροποποιημένων φυτών αλλά και των ποικιλιών σόγιας με ανθεκτικότητα στο glyphosate φέρει το γονίδιο *cp4*, που προέρχεται από βακτήρια του γένους *Agrobacterium* spp. και κωδικοποιεί το ένζυμο EPSPS (5-enol-pyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase) το οποίο δεν αναστέλλεται από το glyphosate. Πλέον, έχουν δημιουργηθεί 2^{ης} γενεάς φυτά σόγιας

με αντοχή στο glyphosate, τα οποία δίνουν μεγαλύτερες αποδόσεις (Lundry et al., 2008; Levy-Booth et al., 2009).

1.13 Σκοπός της μελέτης

Με δεδομένο ότι η ανθεκτικότητα στις αβιοτικές καταπονήσεις κατά τη φάση της βλάστησης έχει αποδειχθεί ότι είναι κληρονομήσιμο γνώρισμα, στόχο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης γενετικού υλικού σόγιας, υπό συνθήκες καταπόνησης, σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια και η επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων. Προς την κατεύθυνση αυτή, αξιολογήθηκε το δυναμικό βλάστησης και ανάπτυξης των σποροφύτων εννέα εμπορικών ποικιλιών σόγιας, των οποίων η ανθεκτικότητα σε αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης δεν έχει αποσαφηνιστεί, υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας, υψηλής αλατότητας και παρουσίας ζιζανιοκτόνου. Η αξιολόγηση των ποικιλιών βασίστηκε σε γνωρίσματα που σχετίζονται με τη βλάστηση και την ανάπτυξη των σποροφύτων, όπως το ποσοστό βλαστικότητας, το ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων, το μήκος ρίζας και βλαστού, το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων, ο δείκτης ευρωστίας και ο αριθμός σποροφύτων με μη φυσιολογικό φαινότυπο. Εφόσον διαπιστωθεί ικανοποιητική συσχέτιση της ανθεκτικότητας στο στάδιο της βλάστησης των σπόρων με μεταγενέστερα, κρίσιμα για την καταπόνηση αναπτυξιακά στάδια, η προσέγγιση αυτή αναμένεται να επιτρέψει την πρώιμη επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων και να συμβάλει στην αναβάθμιση των διαδικασιών που στοχεύουν στη βελτίωση του σύνθετου γνωρίσματος της ανθεκτικότητας της σόγιας σε αβιοτικές καταπονήσεις.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Γενετικό Υλικό

Γενετικό υλικό της παρούσας μελέτης αποτέλεσαν εννέα ποικιλίες σόγιας των οποίων η προσαρμοστικότητα σε αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης δεν έχει αποσαφηνιστεί. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι ποικιλίες:

ο PR92B63

Η ποικιλία αυτή παρουσιάζει μέγιστο παραγωγικό δυναμικό, συγκριτικά με άλλες εμπορικές ποικιλίες και κυριαρχεί σε Ελλάδα και Ιταλία. Η επίτευξη υψηλών στρεμματικών αποδόσεων οφείλεται στο μεγάλο βιολογικό κύκλο (1+) καθώς και στο γεγονός ότι παρουσιάζει ευρεία προσαρμοστικότητα, γεγονός που καθιστά δυνατή την καλλιέργειά της σε όλες τις ζώνες καλλιέργειας στην Ελλάδα. Κύρια χαρακτηριστικά της ποικιλίας συνιστούν:

- εξαιρετική προσαρμογή σε σειρές σποράς 75cm
- πλούσια βλάστηση και διακλάδωση
- ικανοποιητική αντοχή στο πλάγιασμα
- μεγάλη αντοχή σε καταπονήσεις και σε προβληματικά εδάφη
- ικανοποιητική προσαρμοστικότητα ακόμη και σε πυκνές φυτείες και σε βαριά ή συμπαγή εδάφη.

ο PR92M35

Η ποικιλία αυτή διακρίνεται για το συνδυασμό υψηλών αποδόσεων και ανθεκτικότητας σε ασθένειες και ιδιαίτερα, στον περονόσπορο. Διαθέτει βιολογικό κύκλο 1. Παρουσιάζει εξαιρετική φυτρωτική ικανότητα και αναπτύσσει ισχυρό στέλεχος μέσου ύψους με έντονη τάση διακλαδώσεων. Είναι ανθεκτική στο πλάγιασμα και συνίσταται η καλλιέργειά της σε μέσης και υψηλής γονιμότητας εδάφη και όσιμη σπορά. Είναι κατάλληλη για αποστάσεις σποράς 50 και 75cm.

ο PR92M22

Είναι ποικιλία νέας γενιάς που δημιουργήθηκε με βελτιωτικές διαδικασίες. Χαρακτηρίζεται από μέγιστο δυναμικό παραγωγής για το βιολογικό κύκλο 1, όπου και ανήκει, και διακρίνεται για τη σταθερότητα απόδοσης. Κύρια χαρακτηριστικά συνιστούν:

- πολύ καλή πρόωμη ανάπτυξη και ταχύτητα ανάπτυξης
- προσαρμοστικότητα σε ποικίλες πυκνότητες σποράς, ακόμη και σε πυκνές αποστάσεις μεταξύ των γραμμών
- άριστη αντοχή στο πλάγιασμα
- ανθεκτικότητα σε μυκητολογικές ασθένειες
- μέσο ύψος φυτό με έντονη τάση διακλαδώσεων
- συνιστάται για όψιμη σπορά ή πρόωμη συγκομιδή.

ο PR91M10

Η ποικιλία αυτή συνδυάζει πρωιμότητα, υψηλή παραγωγή και άριστη ποιότητα. Λόγω του μικρού βιολογικού κύκλου (0+), είναι κατάλληλη για πρόωμη συγκομιδή και προσφέρει τη δυνατότητα για εμβόλιμες ανοιξιάτικες καλλιέργειες μετά από χειμερινά σιτηρά ή ελαιοκράμβη. Κύρια χαρακτηριστικά συνιστούν:

- είναι κατάλληλη για βιολογική καλλιέργεια
- ενδείκνυται για μεγάλη πυκνότητα φυτών και μικρές αποστάσεις μεταξύ των γραμμών σποράς
- παρουσιάζει ταχύτατη αποφύλλωση μετά την ωρίμανση
- επιτρέπει αλωνισμό με ελάχιστη υγρασία
- διαθέτει καρπό υψηλής ποιότητας, μεγάλων διαστάσεων, με ενιαίο χρώμα (χωρίς μαύρη ουλή) και υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη
- είναι κατάλληλη για βιομηχανική χρήση αλλά και για ανθρώπινη κατανάλωση.

ο ZORA

Ο βιολογικός της κύκλος είναι 0 και θεωρείται μια πρόιμη ποικιλία. Τα φυτά φτάνουν σε ύψος 95 εκατ. και διαθέτει κίτρινο σπόρο. Χαρακτηρίζεται ως υψηλοαποδοτική, με απόδοση που υπερβαίνει τους 4,5 τόνους/εκτάριο και βάρος 1000 κόκκων στα 170g. Διαθέτει εξαιρετική σταθερότητα στην απόδοση κάτω από διάφορες συνθήκες καλλιέργειας και η βέλτιστη πυκνότητα φύτευσης είναι 500.000 βιώσιμων σπόρων ανά εκτάριο (<http://www.mihail-fas.gr/en/seeds/soybean/item/290-zora>).

ο NEOPLANTA

Ο βιολογικός της κύκλος είναι 1 και είναι μεσαίας ωρίμανσης ποικιλία. Παρουσιάζει πολύ υψηλό δυναμικό απόδοσης, που υπερβαίνει τους 5 τόνους/εκτάριο. Επίσης, παρουσιάζει ικανοποιητική ανθεκτικότητα σε παράσιτα των φύλλων (περονόσπορο και βακτηριακή κηλίδωση) και εξαιρετική αντοχή στο πλάγιασμα. Κύριο σημείο υπεροχής της είναι το γεγονός ότι διαθέτει σπόρους με ιδιαίτερα υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, σε ποσοστά που υπερβαίνουν αυτά των πρότυπων ποικιλιών (<http://www.mihail-fas.gr/en/seeds/soybean/item/291-neoplanta>).

ο P21T45

Παρουσιάζει ανάπτυξη ακαθόριστου τύπου και εξαιρετική ανθεκτικότητα στη φυτόφθορα και στην καστανή σήψη. Παράλληλα, χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλή αντοχή στο πλάγιασμα και την έντονη τάση διακλάδωσης. Κύρια χαρακτηριστικά της συνιστούν:

- ιδιαίτερα υψηλό δυναμικό παραγωγής για τη συγκεκριμένη ομάδα ωριμότητας
- εξαιρετική ανθεκτικότητα στο πλάγιασμα
- ευρεία προσαρμοστικότητα σε ποικίλες συνθήκες γονιμότητας και εδαφικής σύστασης
- ταχεία ωρίμανση και αποφύλλωση στην ωριμότητα.

ο CELINA

Είναι ποικιλία μεσαίου μεγέθους που φτάνει σε ύψος τα 180-190cm. Χαρακτηρίζεται από αντοχή στο πλάγιασμα, στην ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας αλλά και σε διάφορες ασθένειες. Διαθέτει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και ενδείκνυται για πυκνότητα φύτευσης περίπου σε 40-45 βιώσιμους σπόρους/τ.μ.

ο ADONAI

Ο βιολογικός της κύκλος είναι 1, και χαρακτηρίζεται ως μεσο-όψιμη ποικιλία. Ανήκει στον ακαθόριστο τύπο ανάπτυξης, χαρακτηρίζεται από μέσο έως μεγάλο ύψος φυτών και παρουσιάζει πολύ υψηλές αποδόσεις. Το χρώμα του άνθους είναι μωβ. Παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, που αγγίζει το 40%, και σχετικά μικρό ποσοστό λιπαρών, που είναι περί το 21,6%. Το βάρος 1000 κόκκων είναι περί τα 190g.

2.2 Απολύμανση των σπόρων

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε απολύμανση των σπόρων μέσω εμβάπτισής τους σε διάλυμα χλωρίνης 30% που περιέχει Tween-20 για 5 λεπτά υπό ανάδευση και ακολούθησαν 4 πλύσεις με αποστειρωμένο dH₂O. Κατά την απολύμανση των σπόρων, εφαρμόστηκαν αποστειρωμένες συνθήκες σε θάλαμο νηματικής ροής προκειμένου να αποφευχθούν επιμολύνσεις.

2.3 Μεταχειρίσεις καταπόνησης – Πειραματικό σχέδιο

Σκοπό της παρούσας μελέτης αποτέλεσε η αξιολόγηση των υπό μελέτη ποικιλιών σόγιας ως προς την ανθεκτικότητα σε αβιοτικές καταπονήσεις κατά τη φάση της βλάστησης και της πρώιμης ανάπτυξης των σποροφύτων. Ο έλεγχος της επίδρασης των καταπονήσεων κατά την βλαστική φάση ανάπτυξης των ποικιλιών σόγιας, έγινε μέσω πειραμάτων στο εργαστήριο.

Η απόκριση των ποικιλιών αξιολογήθηκε υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας, υψηλής αλατότητας και παρουσίας ζιζανιοκτόνου. Για το σκοπό αυτό, οι απολυμασμένοι σπόροι τοποθετήθηκαν σε διάφανα πλαστικά δοχεία που περιείχαν

διαλύματα με τον κατάλληλο παράγοντα καταπόνησης. Ειδικότερα, η καταπόνηση ξηρασίας επετεύχθη με τη χρήση του ωσμωτικά δραστικού μακρομορίου της πολυαιθυλενικής γλυκόλης (PEG-6000), η αλατότητα με τη χρήση διαλυμάτων NaCl και η καταπόνηση από την παρουσία ζιζανιοκτόνου με τη χρήση του σκευάσματος Sencor 70W που περιέχει τη δραστική ουσία metribuzin σε συγκέντρωση 70%.

Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό των πλήρων τυχαιοποιημένων ομάδων με 4 επαναλήψεις των 30 σπόρων. Κάθε επανάληψη (δοχείο) αποτελούνταν από 4 σειρές, εκ των οποίων οι 2 μεσαίες αποτέλεσαν γενετικό υλικό για τις μετρήσεις στα υπό μελέτη γνωρίσματα.

2.3.1 Υδατική καταπόνηση

Η πολυαιθυλενική γλυκόλη (polyethylen glycol-PEG), αποτελεί ένα πολυμερές πολυαιθέρα με συντακτικό τύπο $H-(CH_2-O-CH_2)_n-OH$. Οι διαθέσιμοι τύποι PEG παρουσιάζουν ένα εύρος μοριακών βαρών από 300 g/mol έως 10.000.000 g/mol. Το PEG αξιοποιείται ευρέως σε μελέτες όπου εξετάζεται η απόκριση των φυτών στην υδατική καταπόνηση. Για το σκοπό αυτό, αξιοποιείται η πολυαιθυλενική γλυκόλη μεγάλου μοριακού βάρους >4000g/mol, καθώς δεν καθίσταται εφικτή η ενεργός μεταφορά του μορίου στο εσωτερικό των φυτικών κυττάρων, αποτρέποντας έτσι τυχόν τοξικές επιδράσεις (Mohammadkhani Nayer et al., 2008; Oertli et al., 1985; Sakthivelu G. et al., 2008).

Η ανάπτυξη φυτών παρουσία του μακρομορίου PEG οδηγεί σε μείωση του υδατικού δυναμικού του μέσου, προσομοιώνοντας έτσι το χαμηλό υδατικό δυναμικού του εδάφους υπό συνθήκες ανεπάρκειας εδαφικής υγρασίας. Η αξιοποίηση του συγκεκριμένου μακρομορίου έγκειται στο γεγονός ότι έχει αποδειχθεί ότι η προσθήκη του στο μέσο ανάπτυξης των φυτών προκαλεί αλλαγές στις υδατικές σχέσεις φυτού-μέσου, αντίστοιχες με αυτές του φυτού με το ξηρό έδαφος (Kaufmann and Eckard, 1970). Ειδικότερα, έχει αποδειχθεί ότι η μείωση του οσμωτικού δυναμικού του μέσου και του δυναμικού πίεσης του ξηλώματος του φυτού προσομοιάζει αυτή που παρατηρείται σε πειράματα στον αγρό.

Η επίτευξη χαμηλού οσμωτικού δυναμικού για την υδατική καταπόνηση επετεύχθη με την αξιοποίηση διαλυμάτων πολυαιθυλενικής γλυκόλης διαφορετικής

συγκέντρωσης: 0%, 5%, 10% και 20% PEG-6000. Τα διαλύματα αποστειρώθηκαν σε χύτρα πίεσεως και 30 ml διαλύματος τοποθετήθηκαν σε αποστειρωμένα δοχεία που περιείχαν διηθητικό χαρτί. Τα δοχεία αποστειρώθηκαν μέσω έκθεσής τους σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV) για 15 λεπτά. Η τοποθέτηση των διαλυμάτων έγινε σε αποστειρωμένο περιβάλλον θαλάμου νηματικής ροής, προς αποφυγή επιμολύνσεων από μικροοργανισμούς.

Στη συνέχεια, οι σπόροι των υπό μελέτη ποικιλιών τοποθετήθηκαν σε δοχεία που περιείχαν τα διαλύματα πολυαιθυλενικής γλυκόλης της κάθε επέμβασης (0%, 5%, 10% και 20% PEG-6000). Λόγω εξάτμισης, κατά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιήθηκε προσθήκη απιονισμένου νερού έτσι ώστε τα επίπεδα καταπόνησης να παραμείνουν σταθερά.

Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών (25°C, φωτοπερίοδος: 16 h φως/8 h σκοτάδι) για 15 ημέρες, διάστημα κατά το οποίο λαμβάνονταν παρατηρήσεις ώστε να αξιολογηθεί η ανθεκτικότητά τους στην υδατική καταπόνηση κατά τη φάση της βλάστησης και πρώιμης ανάπτυξης των σποροφύτων.

2.3.2 Καταπόνηση αλατότητας

Η επίτευξη καταπόνησης υψηλής αλατότητας επετεύχθη με τη χρήση διαλυμάτων NaCl διαφορετικής συγκέντρωσης: 0, 50, 100 και 200 mM NaCl. Τα διαλύματα αποστειρώθηκαν σε χύτρα πίεσεως και 30 ml διαλύματος τοποθετήθηκαν σε δοχεία, που είχαν προηγουμένως αποστειρωθεί, μέσω έκθεσής τους σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV) για 15 λεπτά, και περιείχαν διηθητικό χαρτί. Η τοποθέτηση των διαλυμάτων έγινε σε αποστειρωμένο περιβάλλον θαλάμου νηματικής ροής.

Ακολούθησε η τοποθέτηση των σπόρων στα δοχεία που περιείχαν τα διαλύματα NaCl της κάθε επέμβασης (0, 50, 100 και 200 mM NaCl). Λόγω εξάτμισης, κατά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιήθηκε προσθήκη απιονισμένου νερού έτσι ώστε τα επίπεδα καταπόνησης να παραμείνουν σταθερά.

Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών (25°C, φωτοπερίοδος: 16 h φως/8 h σκοτάδι) για 15 ημέρες. Κατά το διάστημα αυτό, λαμβάνονταν παρατηρήσεις ανά τακτά διαστήματα προκειμένου να αξιολογηθεί η ανθεκτικότητά στους στην υψηλή αλατότητα.

2.3.3 Καταπόνηση ζιζανιοκτόνου

Για την καταπόνηση από την παρουσία ζιζανιοκτόνου αξιοποιήθηκε το σκέυασμα Sencor 70W που περιέχει τη δραστική ουσία metribuzin σε συγκέντρωση 70%. Το συγκεκριμένο σκέυασμα είναι ένα εκλεκτικό ζιζανιοκτόνο που χρησιμοποιείται σε καλλιέργεια σόγιας για την καταπολέμηση πλατύφυλλων και στενόφυλλων ζιζανίων.

Η καταπόνηση επετεύχθη με τη χρήση διαλυμάτων διαφορετικής συγκέντρωσης: 0, 0.1, 1, 10 και 100 mg/lit Sencor 70WG. Τα διαλύματα (30 ml) τοποθετήθηκαν σε δοχεία, που είχαν προηγουμένως αποστειρωθεί, μέσω έκθεσής τους σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV) για 15 λεπτά, και περιείχαν διηθητικό χαρτί. Η τοποθέτηση των διαλυμάτων έγινε σε αποστειρωμένο περιβάλλον θαλάμου νηματικής ροής.

Ακολούθησε η τοποθέτηση των σπόρων στα δοχεία που περιείχαν τα διαλύματα της κάθε επέμβασης (0, 0.1, 1, 10 και 100 mg/lit Sencor 70WG). Λόγω εξάτμισης, κατά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιήθηκε προσθήκη απιονισμένου νερού έτσι ώστε τα επίπεδα καταπόνησης να παραμείνουν σταθερά. Τα φυτά αναπτύχθηκαν σε θάλαμο ελεγχόμενων συνθηκών (25°C, φωτοπερίοδος: 16 h φως/8 h σκοτάδι) για 15 ημέρες και κατά το διάστημα αυτό πραγματοποιούνταν μετρήσεις προκειμένου να αξιολογηθεί η ενδεχόμενη αναστολή της ανάπτυξης λόγω της παρουσίας ζιζανιοκτόνου.

2.4 Μετρήσεις

Η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των υπό μελέτη ποικιλιών σόγιας στην υδατική καταπόνηση αφορούσε στη μέτρηση των ακόλουθων γνωρισμάτων:

1. Ποσοστό βλάστησης των σπόρων (GP %). Η μέτρηση πραγματοποιούνταν καθημερινά για τις πρώτες 7 ημέρες
2. Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) (5^η και 7^η ημέρα)
3. Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC%) (7^η, 12^η και 15^η ημέρα)
4. Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (SVI %) (7^η και 15^η ημέρα)
5. Μήκος βλαστού των σποροφύτων (5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα)
6. Μήκος ριζιδίου των σποροφύτων (5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα)

7. Ποσοστό σποροφύτων με μη φυσιολογικό φαινότυπο (1^η και 15^η ημέρα)

Αντιστοίχως, η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των υπό μελέτη ποικιλιών στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας και στην καταπόνηση από την παρουσία ζιζανιοκτόνου βασίστηκε στα ακόλουθα γνωρίσματα:

1. Ποσοστό βλάστησης των σπόρων (GP %). Η μέτρηση πραγματοποιούνταν καθημερινά για τις πρώτες 7 ημέρες
2. Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) (5^η, και 7^η ημέρα)
3. Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC%) (9^η και 15^η ημέρα)
4. Δείκτης ευρωστίας των σποροφύτων (SVI %) (7^η και 15^η ημέρα)
5. Μήκος βλαστού των σποροφύτων (5^η, 7^η, 9^η και 11^η ημέρα)
6. Μήκος ριζιδίου των σποροφύτων (3^η, 5^η, 7^η και 9^η ημέρα)
7. Ποσοστό σποροφύτων με μη φυσιολογικό φαινότυπο (1^η και 15^η ημέρα)

Η έναρξη των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε όταν το ελάχιστο μήκος του ριζιδίου ήταν 2mm, που θεωρείται ως το στάδιο κατά το οποίο ολοκληρώνεται η φάση της βλάστησης. Το ποσοστό βλάστησης εκτιμήθηκε σύμφωνα με το τύπο:

$$GP = (\text{αριθμός σπόρων που βλάστησαν} / \text{συνολικός αριθμός σπόρων}) \times 100.$$

Η απορρόφηση νερού (WU) εκφράστηκε ως ποσοστό σύμφωνα με την εξίσωση:

$WU (\%) = (W_2 - W_1) / W_2 \times 100$ όπου W_1 = αρχικό βάρος σπόρων και W_2 = βάρος σπόρων μετά την απορρόφηση νερού (Mujeeb-ur-Rahman *et al.* 2008). Για την εκτίμηση του δείκτη WU πραγματοποιήθηκε ζύγισμα 20 σπόρων (5 από κάθε επανάληψη) από κάθε ποικιλία.

Ο δείκτης περιεχόμενης υγρασίας των σπόρων εκφράστηκε ως ποσοστό σύμφωνα με το τύπο:

$WC\% = (\text{νωπό βάρος} - \text{ξηρό βάρος} / \text{νωπό βάρος}) \times 100$ (Black & Pritchard 2002). Η εκτίμηση του ξηρού βάρους πραγματοποιήθηκε μετά τη ξήρανση 20 σπόρων (5 ανά επανάληψη) για κάθε ποικιλία σε ξηραντήριο στους 70°C για 48 ώρες.

Η μέτρηση του δείκτη ευρωστίας (SVI) υπολογίστηκε με βάση το τύπο:

$SVI = \text{μήκος βλαστού (cm)} \times \text{ποσοστό βλάστησης (Abdul-Baki and Anderson 1973)}$.

Τέλος, η μέτρηση του μήκους ρίζας και βλαστού πραγματοποιήθηκε μέσω διαβαθμισμένου χάρακα σε cm.

2.5 Στατιστική Ανάλυση

Τα δεδομένα αναλύθηκαν ξεχωριστά για κάθε επέμβαση (διαφορετική συγκέντρωση παράγοντα καταπόνησης και γονότυπο, two way-ANOVA). Οι διαφορές μεταξύ των Μ.Ο. συγκρίθηκαν με τη χρήση της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς LSD test ($p \leq 0.05$). Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου JMP v. 8.

3. Αποτελέσματα

3.1 Υδατική καταπόνηση

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν τη σημαντική επίδραση της καταπόνησης ξηρασίας στο ποσοστό της βλάστησης και στα χαρακτηριστικά ανάπτυξης των σποροφύτων σόγιας. Στο σύνολο των ποικιλιών, η επίδραση της ξηρασίας ήταν ανάλογη του επιπέδου του υδατικού στρες που εφαρμόστηκε και, όπως αναμενόταν, παρουσίασε μεγιστοποίηση, στο υψηλότερο επίπεδο υδατικής καταπόνησης (20% PEG).

Το ποσοστό βλαστικότητα επηρεάστηκε σημαντικά από την καταπόνηση, την ποικιλία καθώς και την αλληλεπίδραση αυτών (Πίνακας 3.1) (Γράφημα 3.1). Η έναρξη της βλάστησης σημειώθηκε την 3^η ημέρα, με σημαντικές ωστόσο διαφοροποιήσεις αναφορικά τόσο με την ποικιλία όσο και με το επίπεδο καταπόνησης. Στα φυτά-μάρτυρες, σημαντικά αυξημένο δυναμικό βλάστησης παρουσίασαν οι ποικιλίες Adonai, PR92M22, ακολούθησαν οι ποικιλίες Neoplanta, PR92M35, Celina και Zora, ενώ οι ποικιλίες PR92B63, PR91M10 και P21T45 εμφάνισαν πολύ χαμηλό ή ακόμη και μηδενικό ποσοστό βλάστησης. Κατά το διάστημα αυτό (3^η ημέρα), το ποσοστό βλάστησης της ποικιλίας PR92M22 δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την καταπόνηση στο χαμηλό (5% PEG) και μεσαίο επίπεδο (10% PEG) καταπόνησης, ενώ οι ποικιλίες Neoplanta και Celina εμφάνισαν αυξημένο ποσοστό βλάστησης, συγκριτικά με τους μάρτυρες, στα συγκεκριμένα επίπεδα στρες. Στην ποικιλία Adonai, η μείωση του ποσοστού βλάστησης ήταν ευθέως ανάλογη με το εφαρμοζόμενο επίπεδο στρες, ενώ οι υπόλοιπες ποικιλίες (PR92B63, PR92M35, PR91M10, Zora και P21T45) παρουσίασαν σημαντικά μειωμένο ποσοστό βλάστησης τόσο στους μάρτυρες όσο και στις συνθήκες καταπόνησης.

Όπως αναμενόταν, το υψηλό επίπεδο στρες (20% PEG) φάνηκε να επηρεάζει δραστικά το ποσοστό βλάστησης σε όλες τις ποικιλίες που εξετάστηκαν. Κατά την 4^η και 5^η ημέρα, η απόκριση των ποικιλιών στην καταπόνηση ακολούθησε την ίδια τάση. Με την πάροδο του χρόνου ωστόσο, οι ποικιλίες PR92M22, Neoplanta και Adonai αναδείχθηκαν για την υπεροχή τους έναντι της υδατικής καταπόνησης καθώς επέδειξαν ικανοποιητικό ποσοστό βλάστησης στα εφαρμοζόμενα επίπεδα

καταπόνησης. Παρά το γεγονός ότι οι ποικιλίες PR92M22 και Adonai εμφάνισαν το υψηλότερο ποσοστό βλάστησης στο χαμηλό και μεσαίο επίπεδο στρες (PR92M22: 98% και 88% / Adonai: 91% και 90%, για επίπεδα στρες 5% και 10% PEG αντίστοιχα), η ποικιλία Neoplanta παρουσίασε την καλύτερη επίδοση κατά το υψηλό επίπεδο καταπόνησης (20% PEG: 52%).

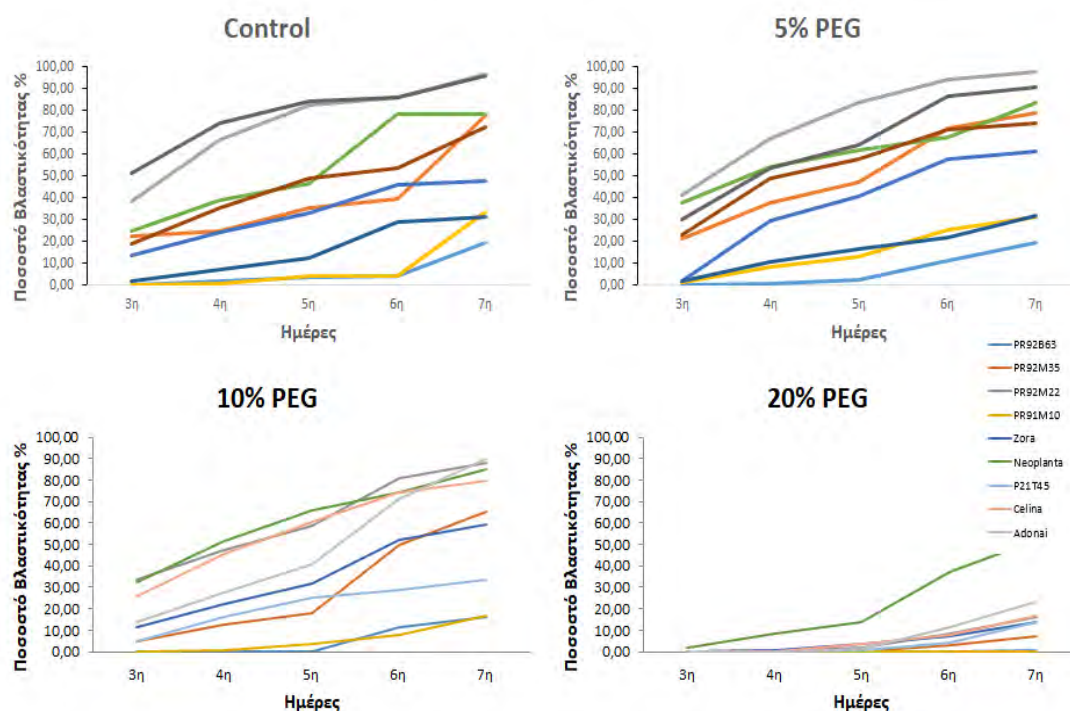
Τα ευρήματα αυτά κατατάσσουν τις ποικιλίες PR92M22 και Adonai ως τις περισσότερο ανθεκτικές ποικιλίες και παράλληλα υποδεικνύουν την ικανότητα της ποικιλίας Neoplanta να διατηρήσει ικανοποιητικό ποσοστό βλάστησης υπό συνθήκες ακραίας εδαφικής ανεπάρκειας.

Πίνακας 3.1: Ποσοστό βλαστικότητα (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση PEG (%) (C)				
		0 % PEG	5% PEG	10 % PEG	20 % PEG	
3						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 d	0,00 d	0,00 c	0,00 b	0,00 e
	PR92M35	22,50 b	21,00 c	5,00 c	0,00 b	12,13 bc
	PR92M22	38,50 a	41,50 a	33,50 a	0,00 b	28,38 a
	PR91M10	0,00 d	1,00 d	0,00 c	0,00 b	0,25 e
	Zora	13,50 bc	1,50 d	11,50 bc	0,00 b	6,63 cd
	Neoplanta	25,00 b	38,00 ab	32,50 a	2,00 a	24,38 a
	P21T45	1,67 cd	1,50 d	5,00 c	0,00 b	2,04 de
	Celina	18,67 b	23,00 c	25,50 ab	0,00 b	16,79 b
	Adonai	51,33 a	30,00 bc	14,00 bc	0,00 b	23,83 a
	SED	3,98	3,91	4,91	0,54	SED (G)= 1,80
Mean (C)	19,01 a	17,5 a	14,11 b	0,22 c	SED (C)= 1,20	
4						MEAN (G)
	PR92B63	2,00 d	0,50 d	0,00 d	0,00 b	0,63 e
	PR92M35	24,50 c	37,50 bc	12,50 cd	0,00 b	18,62 c
	PR92M22	66,50 a	67,50 a	47,50 a	0,50 b	45,5 a
	PR91M10	0,50 d	8,00 d	0,50 d	0,00 b	2,25 de
	Zora	24,00 c	29,50 c	22,00 bcd	0,50 b	19 c
	Neoplanta	39,00 b	54,50 ab	51,50 a	8,50 a	38,37 ab
	P21T45	7,00 d	10,50 d	16,00 cd	0,00 b	8,37 d
	Celina	35,50 bc	49,00 b	45,50 ab	0,00 b	32,50 b
	Adonai	74,50 a	53,50 ab	27,50 abc	0,00 b	38,87 ab
	SED	3,61	5,13	7,25	1,73	SED (G)= 2,44
Mean (C)	30,39 a	34,5 a	24,77 b	1,055 c	SED (C)= 1,63	

5						MEAN (G)
PR92B63	3,50 e	2,50 d	0,00 e	0,00 b		1,50 e
PR92M35	35,50 cd	47,00 bc	18,00 cde	0,00 b		25,13 c
PR92M22	82,50 a	84,00 a	58,50 ab	2,00 b		56,75 a
PR91M10	4,00 e	13,00 d	3,50 de	0,00 b		5,13 de
Zora	33,00 d	40,50 c	31,50 bcd	3,50 b		27,12 c
Neoplanta	46,50 bc	62,00 b	66,00 a	13,50 a		47 b
P21T45	12,50 e	16,50 d	25,00 cde	0,50 b		13,62 d
Celina	49,00 b	58,00 bc	60,50 ab	3,50 b		42,75 b
Adonai	84,50 a	64,50 b	41,00 abc	1,50 b		47,87 ab
SED	3,83	5,54	9,17	2,43		SED (G)= 2,90
Mean (C)	39 a	43,11 a	33,77 b	2,72 c		SED (C)= 1,94
6						MEAN (G)
PR92B63	4,25 d	11,50 d	11,50 d	0,00 b		6,82 e
PR92M35	39,25 bc	72,00 bc	50,00 bc	3,00 b		41,06 c
PR92M22	86,25 a	94,50 a	81,00 a	8,50 b		67,56 a
PR91M10	4,17 d	25,50 d	8,00 d	0,00 b		9,42 e
Zora	46,00 bc	58,00 c	52,00 bc	7,00 b		40,75 c
Neoplanta	78,50 a	68,00 bc	74,00 ab	37,00 a		64,38 a
P21T45	28,67 c	22,00 d	29,00 cd	4,50 b		21,05 d
Celina	53,67 b	71,50 bc	74,00 ab	8,00 b		51,79 b
Adonai	86,17 a	86,50 ab	71,50 ab	11,50 b		63,92 a
SED	6,51	6,02	7,34	3,62		SED (G)= 3,02
Mean (C)	47,43 b	56,61 a	50,11 b	8,83 c		SED (C)= 2,01
7						MEAN (G)
PR92B63	19,25 d	19,50 e	16,00 e	0,50 c		13,81 e
PR92M35	78,00 b	79,00 bc	65,50 bc	7,50 bc		57,50 b
PR92M22	97,00 a	98,00 a	88,00 a	16,00 bc		74,75 a
PR91M10	33,75 cd	31,50 e	17,00 e	0,00 c		20,56 de
Zora	48,00 c	61,50 d	59,50 c	13,50 bc		45,62 c
Neoplanta	74,00 b	83,50 abc	85,00 a	52,00 a		73,62 a
P21T45	31,50 cd	32,00 e	33,50 d	13,50 bc		27,62 d
Celina	72,50 b	74,50 cd	79,50 ab	16,50 bc		60,75 b
Adonai	96,00 a	91,00 ab	90,00 a	23,50 b		75,12 a
SED	4,91	4,49	4,19	5,59		SED (G)= 2,41
Mean (C)	61,11 a	63,39 a	59,33 a	15,89 b		SED (C)= 1,61

Στο σύνολό τους, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν τη σημαντική επίδραση της καταπόνησης στο ποσοστό βλάστησης των ποικιλιών σόγιας αλλά και στο ρυθμό βλάστησης και παράλληλα υπογραμμίζουν το γεγονός ότι το προφίλ απόκρισης στην καταπόνηση εξαρτάται ουσιαστικά από το επίπεδο του εφαρμοζόμενου στρες. Βάσει των ανωτέρω, είναι προφανές ότι η καταλληλότητα μιας ποικιλίας διαμορφώνεται συναρτήσει τους είδους της καταπόνησης αλλά και της έντασης και διάρκειάς της.



Γράφημα 3.1: Ποσοστό βλαστικότητας ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Όπως ήταν αναμενόμενο, ο δείκτης απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) καθώς και η περιεκτικότητα των σποροφύτων σε υγρασία (WC %) παρουσίασε μείωση, που ήταν στο πλείστο των περιπτώσεων αντιστρόφως ανάλογη με το εφαρμοζόμενο επίπεδο καταπόνησης στο σύνολο των εξεταζόμενων ποικιλιών. Τα ευρήματα αυτά καταδεικνύουν τη συσχέτιση των γνωρισμάτων αυτών με το επίπεδο στρες (Πίνακας 3.2). Κατά την 5^η ημέρα και στο υψηλότερο επίπεδο στρες (20% PEG), τη χαμηλότερη μείωση του WU εμφάνισαν οι ποικιλίες Zora και PR92M22 ενώ η υψηλότερη μείωση καταγράφηκε στις Celina και P21T45. Αντίθετα, κατά την 7^η

ημέρα, η χαμηλότερη μείωση σημειώθηκε στην ποικιλία PR92B63, ενώ όλες οι άλλες ποικιλίες φάνηκε να επηρεάζονται δραστικά ως προς το γνώρισμα αυτό.

Πίνακας 3.2: Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η και 7^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση PEG (%) (C)				
		0 % PEG	5% PEG	10 % PEG	20 % PEG	
5						MEAN (G)
	PR92B63	61,62 abc	60,60 cd	54,75 abc	56,40 a	58,34 abcd
	PR92M35	56,30 bc	54,20 f	43,56 d	51,86 b	51,47 e
	PR92M22	59,87 abc	58,42 d	59,12 a	56,55 a	58,48 abc
	PR91M10	55,08 c	68,62 a	54,98 abc	47,18 c	56,46 cd
	Zora	59,55 abc	54,85 ef	56,83 ab	57,89 a	57,28 bcd
	Neoplanta	62,96 ab	64,30 b	57,27 ab	56,59 a	60,28 a
	P21T45	63,85 a	60,36 cd	59,04 a	50,80 bc	58,51 abc
	Celina	65,47 a	57,90 de	50,17 c	50,30 bc	55,95 d
	Adonai	65,39 a	63,31 bc	52,20 bc	56,49 a	59,34 ab
	SED	2,03	1,03	1,61	1,18	SED (G)= 0,76
7	Mean (C)	61,11 a	60,28 a	54,21 b	53,78 b	SED (C)= 0,50
						MEAN (G)
	PR92B63	63,28 cd	54,33 d	63,57 ab	58,22 a	59,84 abc
	PR92M35	67,10 abc	54,45 d	54,74 d	51,60 a	56,97 c
	PR92M22	70,41 a	62,45 abc	63,08 ab	53,40 a	62,33 ab
	PR91M10	60,78 d	57,71 cd	55,21 d	32,64 b	51,58 d
	Zora	66,77 abc	62,31 abc	57,71 cd	52,36 a	59,78 abc
	Neoplanta	69,54 ab	64,54 a	59,67 bc	57,48 a	62,80 a
	P21T45	62,67 cd	62,97 ab	58,35 cd	47,81 ab	57,94 bc
	Celina	63,75 bcd	59,70 bc	64,59 a	51,44 a	59,87 abc
	Adonai	68,17 abc	65,37 a	59,53 bc	52,95 a	61,50 abc
	SED	1,75	1,43	1,25	5,4	SED (G)= 1,50
	Mean (C)	65,83 a	60,42 b	59,6 b	50,87 c	SED (C)= 1,00

Αναφορικά με το γνώρισμα WC, τη χαμηλότερη και υψηλότερη μείωση εμφάνισαν οι ποικιλίες PR92B63 και PR91M10, αντίστοιχα (Πίνακας 3.3). Παρά τις διαφορές που σημειώθηκαν, τα γνωρίσματα αυτά δε φάνηκε να επιτρέπουν την ευχερή κατάταξη των ποικιλιών με βάση την ανθεκτικότητά τους και συνεπώς δεν ενδείκνυται η αξιοποίησή τους ως αξιόπιστα κριτήρια για την επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων κατά τη φάση της βλάστησης.

Πίνακας 3.3: Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 7^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση PEG (%) (C)				
		0 % PEG	5% PEG	10 % PEG	20 % PEG	
7						MEAN (G)
	PR92B63	69,53 b	69,64 a	74,77 ab	59,61 a	68,38 a
	PR92M35	74,76 ab	74,03 a	68,52 abc	58,03 a	68,83 a
	PR92M22	72,80 ab	74,26 a	75,82 a	60,70 a	70,89 a
	PR91M10	72,13 ab	68,86 a	55,26 d	44,20 a	60,11 b
	Zora	77,17 ab	70,43 a	62,76 cd	59,65 a	67,50 a
	Neoplanta	75,82 ab	73,08 a	71,25 abc	61,73 a	70,47 a
	P21T45	78,54 a	74,14 a	74,50 ab	62,75 a	72,48 a
	Celina	74,74 ab	70,60 a	63,55 cd	60,32 a	67,30 a
	Adonai	79,93 a	73,25 a	65,62 bc	61,73 a	70,13 a
	SED	2.50	2.48	2.89	7.50	SED (G)= 2.19
	Mean (C)	75,04 a	72,03 a	68 b	58,74 c	SED (C)= 1.46
12						MEAN (G)
	PR92B63	71,37 b	70,90 a	76,84 a	62,48 a	70,39 a
	PR92M35	75,13 ab	75,77 a	70,07 abc	59,95 a	70,22 a
	PR92M22	73,99 ab	75,81 a	76,38 a	61,73 a	71,97 a
	PR91M10	73,35 ab	70,60 a	56,88 d	45,58 a	61,60 b
	Zora	77,66 ab	71,86 a	65,04 cd	61,05 a	68,90 a
	Neoplanta	76,51 ab	73,85 a	73,16 abc	62,95 a	71,61 a
	P21T45	80,13 a	75,21 a	75,62 ab	63,89 a	73,70 a
	Celina	76,34 ab	71,39 a	64,75 cd	61,84 a	68,58 a
	Adonai	81,08 a	73,63 a	67,33 bc	64,30 a	71,58 a
	SED	2,47	2,34	2,66	7,66	SED (G)= 2,20
	Mean (C)	76,17 a	73,22 ab	69,56 b	60,41 c	SED (C)= 1,46
15						MEAN (G)
	PR92B63	71,92 c	72,42 a	77,30 a	62,93 a	71,14 a
	PR92M35	75,26 abc	76,42 a	70,92 abc	58,88 a	70,36 a
	PR92M22	75,17 abc	74,00 a	76,32 a	61,86 a	71,83 a
	PR91M10	73,04 bc	69,74 a	57,53 d	43,87 a	61,04 b
	Zora	77,61 abc	71,47 a	64,71 cd	60,63 a	68,60 a
	Neoplanta	76,26 abc	72,98 a	72,00 abc	61,95 a	70,80 a
	P21T45	79,99 ab	73,04 a	74,44 ab	63,07 a	72,63 a
	Celina	76,77 abc	70,58 a	64,07 cd	61,44 a	68,21 a
	Adonai	80,61 a	72,62 a	67,27 bc	64,11 a	71,15 a
	SED	2,13	2,28	2,43	7,16	SED (G)= 2,04
	Mean (C)	76,29 a	72,58 b	69,39 b	59,86 c	SED (C)= 1,36

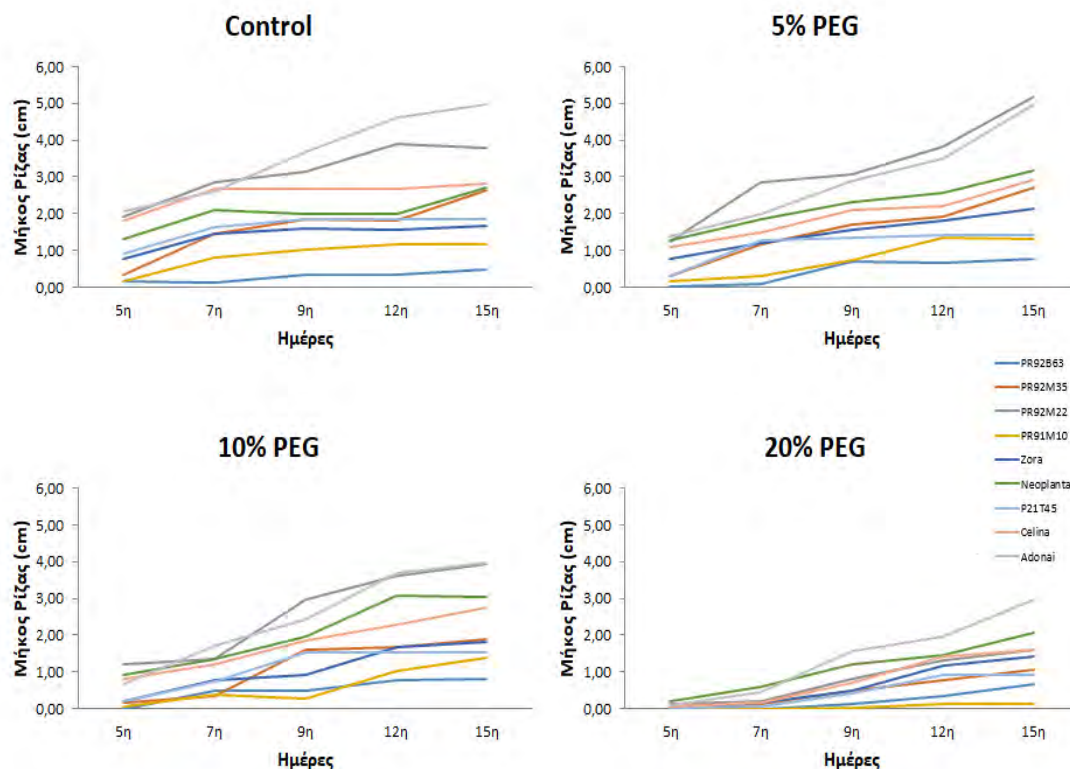
Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης των σποροφύτων, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι το εφαρμοζόμενο επίπεδο καταπόνησης επηρεάζει σημαντικά το μήκος ρίζας και βλαστού στο σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάλυση κατέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στο μήκος ρίζας και βλαστού και, όπως αναμενόταν, το αυξημένο επίπεδο καταπόνησης οδήγησε σε δραστικότερη μείωση του μήκους ρίζας και βλαστού (Πίνακας 3.4) (Γράφημα 3.2).

Όσον αφορά στη ρίζα των σποροφύτων, τη σημαντικότερη μείωση εμφάνισε η ποικιλία PR92B63 στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (20% PEG), καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος. Αντίθετα, την καλύτερη επίδοση αναφορικά με το γνώρισμα αυτό παρουσίασαν οι ποικιλίες PR92M22, Adonai και Neoplanta ακολουθούμενες από τη Celina.

Πίνακας 3.4: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση PEG (%) (C)				
		0 % PEG	5% PEG	10 % PEG	20 % PEG	
5						MEAN (G)
	PR92B63	0,17 d	0,02 d	0,00 c	0,00 b	0,046 e
	PR92M35	0,32 d	0,29 cd	0,15 c	0,00 b	0,19 de
	PR92M22	1,91 a	1,22 ab	1,19 a	0,11 ab	1,11 a
	PR91M10	0,15 d	0,15 d	0,05 c	0,02 ab	0,091 e
	Zora	0,78 c	0,75 bc	0,20 c	0,00 b	0,43 c
	Neoplanta	1,32 b	1,26 a	0,92 ab	0,21 a	0,93 b
	P21T45	0,90 c	0,31 cd	0,20 c	0,02 ab	0,36 cd
	Celina	1,82 a	1,09 ab	0,82 ab	0,06 ab	0,95 ab
	Adonai	2,07 a	1,39 a	0,65 b	0,08 ab	1,045 ab
	SED	0,1	0,14	0,11	0,06	SED (G)= 0,05
7	Mean (C)	1,047 a	0,72 b	0,46 c	0,054 d	SED (C)= 0,04
						MEAN (G)
	PR92B63	0,11 f	0,08 d	0,50 d	0,00 c	0,17 e
	PR92M35	1,44 d	1,17 c	0,34 d	0,12 bc	0,77 d
	PR92M22	2,84 a	2,84 a	1,36 a	0,21 abc	1,81 a
	PR91M10	0,79 e	0,32 d	0,38 d	0,00 c	0,37 e
	Zora	1,46 d	1,21 c	0,78 bcd	0,17 abc	0,90 d
	Neoplanta	2,11 bc	1,84 bc	1,34 ab	0,58 a	1,46 bc
	P21T45	1,64 cd	1,28 c	0,73 cd	0,06 bc	0,92 d
	Celina	2,69 a	1,49 bc	1,19 abc	0,17 abc	1,38 c
	Adonai	2,61 ab	2,00 b	1,71 a	0,46 ab	1,69 ab
	SED	0,15	0,29	0,17	0,12	SED (G)= 0,08
	Mean (C)	1,74 a	1,36 b	0,92 c	0,2 d	SED (C)= 0,05

9						MEAN (G)
	PR92B63	0,32 f	0,68 f	0,50 f	0,12 de	0,37 d
	PR92M35	1,86 d	1,72 cde	1,61 c	0,48 cde	1,41 c
	PR92M22	3,16 ab	3,08 a	2,96 a	0,82 bc	2,50 a
	PR91M10	1,02 ef	0,73 f	0,28 ef	0,04 e	0,51 d
	Zora	1,59 de	1,57 de	0,91 de	0,49 cde	1,14 c
	Neoplanta	2,00 cd	2,30 bc	1,95 bc	1,21 ab	1,86 b
	P21T45	1,85 d	1,36 ef	1,54 cd	0,40 cde	1,28 c
	Celina	2,67 bc	2,11 cd	1,84 bc	0,69 bcd	1,82 b
	Adonai	3,67 a	2,88 ab	2,42 ab	1,58 a	2,63 a
	SED	0,23	0,22	0,21	0,18	SED (G)= 0,10
	Mean (C)	2,04 a	1,82 b	1,51 c	0,64 d	SED (C)= 0,07
12						MEAN (G)
	PR92B63	0,32 d	0,66 e	0,78 e	0,35 de	0,52 d
	PR92M35	1,80 c	1,93 cd	1,68 bc	0,79 cd	1,60 c
	PR92M22	3,90 a	3,82 a	3,61 a	1,32 bc	3,16 a
	PR91M10	1,15 c	1,34 de	1,03 de	0,11 e	0,90 d
	Zora	1,54 c	1,80 cd	1,69 bc	1,18 bc	1,55 c
	Neoplanta	2,00 c	2,56 bc	3,09 a	1,47 ab	2,23 b
	P21T45	1,86 c	1,41 de	1,53 cd	0,90 bcd	1,42 c
	Celina	2,68 b	2,22 cd	2,29 b	1,44 ab	2,15 b
	Adonai	4,60 a	3,48 ab	3,69 a	1,95 a	3,42 a
	SED	0,24	0,33	0,19	0,18	SED (G)= 0,12
	Mean (C)	2,19 a	2,16 a	2,15 a	1,056 b	SED (C)= 0,08
15						MEAN (G)
	PR92B63	0,47 e	0,76 e	0,81 d	0,66 cd	0,67 h
	PR92M35	2,64 bc	2,70 bcd	1,90 c	1,06 bcd	2,07 de
	PR92M22	3,79 ab	5,19 a	3,94 a	1,60 bc	3,62 b
	PR91M10	1,15 de	1,31 de	1,37 cd	0,11 d	0,98 gh
	Zora	1,66 cde	2,15 bcd	1,80 c	1,41 bc	1,75 ef
	Neoplanta	2,71 bc	3,18 b	3,05 b	2,05 ab	2,74 c
	P21T45	1,86 cd	1,41 cde	1,53 cd	0,90 cd	1,42 fg
	Celina	2,81 bc	2,94 bc	2,76 b	1,60 bc	2,52 cd
	Adonai	4,96 a	4,97 a	3,96 a	2,96 a	4,21 a
	SED	0,36	0,46	0,21	0,3	SED (G)= 0,17
	Mean (C)	2,45 ab	2,73 a	2,34 b	1,37 c	SED (C)= 0,11



Γράφημα 3.2: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Ως προς το μήκος του βλαστού, τη μεγαλύτερη μείωση παρουσίασαν οι ποικιλίες PR92M22 και Adonai σε όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων (Πίνακας 3.5) (Γράφημα 3.3).

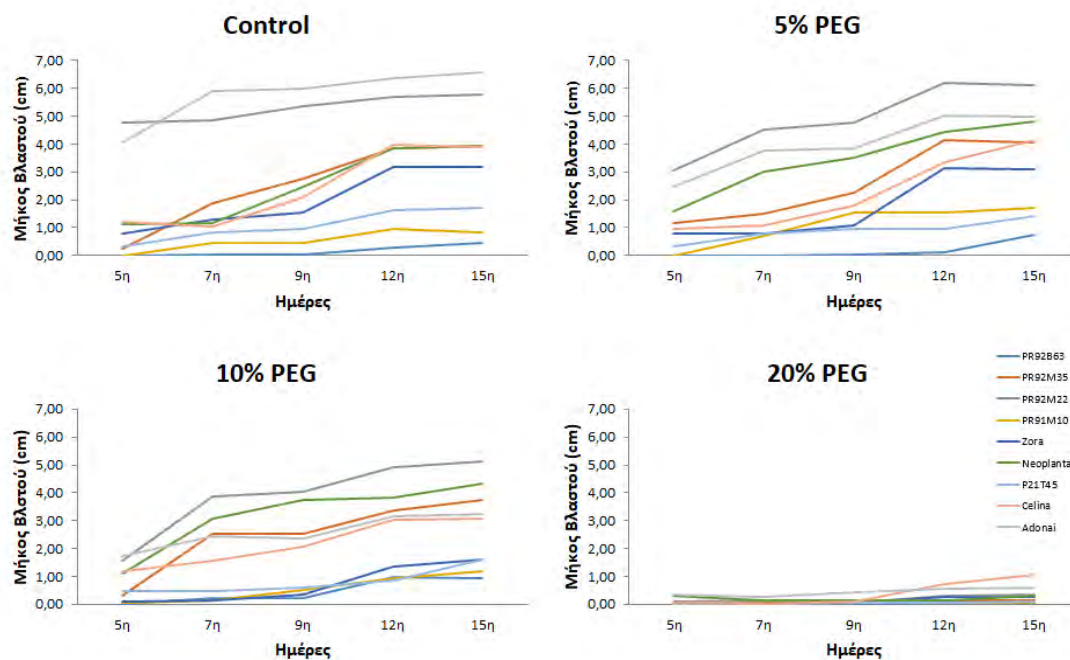
Παρά το γεγονός ότι σε ορισμένες ποικιλίες, όπως οι PR92B63, PR91M10 και P21T45, το στρες επέφερε μικρή μόνο μείωση του μήκους βλαστού, η παρατήρηση αυτή δεν λαμβάνεται ως υπερέχουσα επίδοση και ενδεικτική της ανθεκτικότητας καθώς αντανακλά το περιορισμένο δυναμικό ανάπτυξης βλαστού των εν λόγω ποικιλιών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά τη 15^η ημέρα, το μήκος βλαστού της ποικιλίας PR92B63 στο 0% και 20% PEG ήταν 0,47 και 0,04 cm, ενώ τα αντίστοιχα μήκη για την ποικιλία Adonai ήταν 6,59 και 0,61 cm.

Πίνακας 3.5: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση PEG (%) (C)				
		0 % PEG	5% PEG	10 % PEG	20 % PEG	
5						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 b	0,00 e	0,00 c	0,00 a	0,00 d
	PR92M35	0,24 b	1,16 cd	0,33 c	0,03 a	0,43 bcd
	PR92M22	4,75 a	3,06 a	1,55 ab	0,11 a	2,36 a
	PR91M10	0,00 b	0,00 e	0,04 c	0,00 a	0,008 d
	Zora	0,80 b	0,78 cde	0,11 c	0,02 a	0,42 bcd
	Neoplanta	1,11 b	1,60 bc	1,10 b	0,33 a	1,033 b
	P21T45	0,31 b	0,33 de	0,48 c	0,00 a	0,276 cd
	Celina	1,19 b	0,98 cde	1,18 ab	0,06 a	0,84 bc
	Adonai	4,06 a	2,46 ab	1,73 a	0,33 a	2,14 a
	SED	0,67	0,34	0,18	0,14	SED (G) = 0,20
	Mean (C)	1,38 a	1,15 a	0,72 b	0,1 c	SED (C) = 0,13
7						MEAN (G)
	PR92B63	0,04 c	0,01 c	0,22 d	0,00 b	0,066 e
	PR92M35	1,89 b	1,51 bc	2,54 abc	0,04 ab	1,49 bc
	PR92M22	4,88 a	4,53 a	3,85 a	0,14 ab	3,34 a
	PR91M10	0,47 bc	0,69 c	0,15 d	0,01 ab	0,33 de
	Zora	1,30 bc	0,79 c	0,12 d	0,03 ab	0,55 de
	Neoplanta	1,18 bc	3,03 ab	3,06 ab	0,14 ab	1,84 b
	P21T45	0,85 bc	0,77 c	0,46 cd	0,01 ab	0,52 de
	Celina	1,04 bc	1,08 c	1,56 bcd	0,03 ab	0,92 cd
	Adonai	5,91 a	3,78 a	2,43 abc	0,27 a	3,09 a
	SED	0,48	0,54	0,62	0,08	SED (G) = 0,24
	Mean (C)	1,94 a	1,79 a	1,59 a	0,07 b	SED (C) = 0,16
9						MEAN (G)
	PR92B63	0,03 d	0,03 d	0,24 d	0,02 b	0,079 e
	PR92M35	2,75 b	2,24 bc	2,54 abc	0,10 b	1,84 cd
	PR92M22	5,38 a	4,78 a	4,05 a	0,07 b	3,56 a
	PR91M10	0,47 cd	1,54 cd	0,51 cd	0,05 b	0,59 e
	Zora	1,56 bcd	1,06 cd	0,36 d	0,07 b	0,76 e
	Neoplanta	2,48 b	3,53 ab	3,73 ab	0,14 ab	2,46 bc
	P21T45	0,98 bcd	0,96 cd	0,60 cd	0,04 b	0,64 e
	Celina	2,08 bc	1,78 c	2,06 bcd	0,09 b	1,50 d
	Adonai	6,00 a	3,84 ab	2,34 abc	0,44 a	3,15 ab
	SED	0,54	0,49	0,55	0,1	SED (G) = 0,23
	Mean (C)	2,39 a	2,19 ab	1,79 b	0,11 c	SED (C) = 0,15

12						MEAN (G)
PR92B63	0,29 e	0,12 e	0,97 d	0,05 b		0,35 d
PR92M35	3,84 bc	4,15 bc	3,38 ab	0,12 b		2,87 b
PR92M22	5,70 a	6,18 a	4,93 a	0,32 ab		4,27 a
PR91M10	0,97 de	1,54 d	0,93 d	0,05 b		0,79 d
Zora	3,16 c	3,14 c	1,36 cd	0,24 ab		1,97 c
Neoplanta	3,84 bc	4,42 b	3,81 ab	0,16 b		3,05 b
P21T45	1,61 d	0,94 de	0,85 d	0,08 b		0,86 d
Celina	3,98 b	3,34 c	3,04 bc	0,75 a		2,77 b
Adonai	6,36 a	5,03 b	3,16 ab	0,56 ab		3,77 a
SED	0,23	0,31	0,53	0,17		SED (G)=0,17
Mean (C)	3,3 a	3,17 a	2,49 b	0,25 c		SED (C)=0,11

15						MEAN (G)
PR92B63	0,47 d	0,76 d	0,95 c	0,04 b		0,55 e
PR92M35	3,93 b	4,06 bc	3,73 ab	0,13 b		2,96 b
PR92M22	5,79 a	6,13 a	5,12 a	0,34 b		4,34 a
PR91M10	0,84 cd	1,73 d	1,19 c	0,05 b		0,95 de
Zora	3,16 b	3,10 c	1,62 c	0,25 b		2,03 c
Neoplanta	3,95 b	4,81 b	4,31 ab	0,29 b		3,33 b
P21T45	1,71 c	1,43 d	1,60 c	0,09 b		1,20 d
Celina	3,90 b	4,13 bc	3,06 b	1,08 a		3,04 b
Adonai	6,59 a	4,98 ab	3,26 b	0,61 ab		3,85 a
SED	0,28	0,37	0,42	0,2		SED (G)=0,16
Mean (C)	3,37 a	3,45 a	2,76 b	0,31 c		SED (C)=0,11



Γράφημα 3.3: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ευρήματα, οι ποικιλίες PR92M22, Adonai και Neoplanta παρουσίασαν τον υψηλότερο δείκτη ευρωστίας, με την τελευταία μάλιστα να χαρακτηρίζεται από ικανοποιητική αντίσταση ακόμη και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (20% PEG) (Πίνακας 3.6).

Τέλος, σε καμία από τις ποικιλίες το στρες δεν οδήγησε στην εμφάνιση σπορόφυτων με μη φυσιολογικό φαινότυπο.

Πίνακας 3.6: Δείκτης Ευρωστίας (SVI) ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση PEG (C)) την 7^η και 15^η ημέρα της υδατικής καταπόνησης.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση PEG (%) (C)				
		0 % PEG	5% PEG	10 % PEG	20 % PEG	
7						MEAN (G)
	PR92B63	0,68 d	1,76 e	11,39 e	0,00 b	3,45 e
	PR92M35	219,24 bc	217,64 cd	188,65 cd	1,34 b	156,71 c
	PR92M22	749,90 a	723,09 a	458,68 a	5,55 b	484,30 a
	PR91M10	19,43 d	31,35 de	9,19 e	0,00 b	14,99 de
	Zora	134,54 bcd	121,32 de	53,12 cde	3,93 b	78,22 d
	Neoplanta	252,66 b	407,03 bc	372,93 ab	38,34 a	267,73 b
	P21T45	79,68 cd	65,27 de	41,78 de	1,90 b	47,15 de
	Celina	272,65 b	190,87 de	221,09 bc	3,65 b	172,06 c
	Adonai	819,85 a	527,24 ab	370,15 ab	20,13 ab	434,33 a
	SED	48,92	59	50,44	6,4	SED (G)= 23,00
	Mean (C)	283,17 a	253,95 a	191,88 b	8,31 c	SED (C)= 15,33
15						MEAN (G)
	PR92B63	5,63 d	30,46 d	30,41 e	0,71 c	16,80 d
	PR92M35	462,64 b	544,33 b	370,69 bc	8,64 c	346,57 b
	PR92M22	908,09 a	1067,49 a	807,11 a	30,60 bc	703,32 a
	PR91M10	39,58 d	99,68 d	59,09 de	0,00 c	49,58 d
	Zora	218,22 cd	260,29 cd	226,83 cd	26,40 bc	182,93 c
	Neoplanta	443,56 bc	465,23 bc	654,80 a	124,62 a	422,05 b
	P21T45	98,00 d	105,54 d	129,47 de	19,10 bc	88,02 cd
	Celina	516,41 b	568,81 b	471,83 b	55,87 abc	403,22 b
	Adonai	1080,64 a	1048,50 a	665,12 a	106,32 ab	725,14 a
	SED	71,07	83,78	50,84	26,41	SED (G)= 30,98
	Mean (C)	419,19 ab	465,59 a	379,48 b	41,36 c	SED (C)= 20,65

3.2 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων υπογραμμίζουν το γεγονός ότι η καταπόνηση υψηλής αλατότητας επηρεάζει δραστικά το ποσοστό της βλάστησης αλλά και τα γνωρίσματα που σχετίζονται με την ανάπτυξη των σποροφύτων σόγιας. Σε όλες τις ποικιλίες, όπως αναμενόταν, η επίδραση της καταπόνησης ήταν ανάλογη του επιπέδου στρες που εφαρμόστηκε, με αποτέλεσμα να σημειωθούν δραστικές επιδράσεις στο υψηλότερο επίπεδο αλατότητας (200 mM NaCl).

Συγκεκριμένα, το ποσοστό βλαστικότητα επηρεάστηκε σημαντικά από την καταπόνηση, την ποικιλία καθώς και την αλληλεπίδραση τους (Πίνακας 3.7) (Γράφημα 3.4). Η έναρξη της βλάστησης σημειώθηκε την 3η ημέρα, με διαφοροποιήσεις ωστόσο αρκετά σημαντικές τόσο σε επίπεδο ποικιλίας όσο και σε επίπεδο καταπόνησης. Στα φυτά που δεν υπέστησαν καταπόνηση, υψηλό δυναμικό βλάστησης παρουσίασαν οι ποικιλίες Neoplanta, Adonai ακολούθως οι ποικιλίες PR92M22, Celina και Zora, ενώ οι ποικιλίες PR92B63, PR92M35, PR91M10 και P21T45 παρουσίασαν πολύ χαμηλό ή ακόμη και μηδενικό ποσοστό βλάστησης.

Αναφορικά με το ποσοστό βλάστησης στα καταπονημένα φυτά, σημειώθηκε εμφανής υπεροχή των ποικιλιών Neoplanta και Adonai. Παρά το γεγονός ότι αρχικά (3^η ημέρα), το ποσοστό βλάστησης των ποικιλιών Neoplanta και Adonai παρουσίασε σημαντική μείωση στο μεσαίο (100 mM NaCl) και υψηλό (200 mM NaCl) επίπεδο καταπόνησης, από την 4^η ημέρα και έως και το πέρας του διαστήματος παρατήρησης οι ποικιλίες αυτές διατήρησαν υψηλό ποσοστό βλάστησης στο χαμηλό και μεσαίο επίπεδο καταπόνησης.

Ωστόσο, το υψηλό επίπεδο αλατότητας (200 mM NaCl) φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά το ποσοστό βλάστησης σε όλες τις ποικιλίες που εξετάστηκαν, συμπεριλαμβανομένου των ποικιλιών Neoplanta και Adonai. Οι ποικιλίες PR92M22, Celina και Zora εμφάνισαν ικανοποιητικό ποσοστό βλάστησης στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης, ενώ παρουσίασαν σημαντικά μειωμένο ποσοστό βλάστησης στο μεσαίο και υψηλό επίπεδο στρες. Αντίθετα, οι ποικιλίες PR92B63, PR92M35, PR91M10 και P21T45 παρουσίασαν σημαντικά μειωμένο ποσοστό βλάστησης τόσο στους μάρτυρες όσο και στις συνθήκες καταπόνησης.

Οι ποικιλίες Neoplanta και Adonai κατατάχθηκαν ως περισσότερο ανθεκτικές ποικιλίες στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας, καθώς επέδειξαν ικανοποιητικό ποσοστό βλάστησης στα εφαρμοζόμενα επίπεδα καταπόνησης, με την ποικιλία Neoplanta να αναδεικνύεται ως η καλύτερη σε όλα τα επίπεδα καταπόνησης. Παρά το γεγονός ότι οι ποικιλίες Neoplanta και Adonai εμφάνισαν το υψηλότερο ποσοστό βλάστησης στο χαμηλό και μεσαίο επίπεδο στρες (Neoplanta: 75 % και 75 % / Adonai: 69,17 % και 64,17 %, για επίπεδα στρες 50 mM και 100 mM NaCl αντίστοιχα, 7^η ημέρα), η ποικιλία Neoplanta παρουσίασε την καλύτερη επίδοση κατά το υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM: 45%, 7^η ημέρα).

Πίνακας 3.7: Ποσοστό βλαστικότητας (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)			
		Control	50mM	100mM	200mM
3					MEAN (G)
	PR92B63	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 b
	PR92M35	0,83 c	0,00 c	0,00 c	0,00 b
	PR92M22	20,00 b	8,33 c	2,50 bc	0,00 b
	PR91M10	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 b
	Zora	15,83 b	2,50 c	0,00 c	0,00 b
	Neoplanta	71,67 a	52,50 a	17,50 a	5,00 a
	P21T45	3,33 c	1,67 c	0,83 bc	0,00 b
	Celina	17,50 b	8,33 c	5,00 bc	2,50 ab
	Adonai	61,67 a	40,83 b	10,00 ab	0,00 b
	SED	3,01	2,69	2,77	0,87
	Mean (C)	21,2 a	12,68 b	3,98 c	0,83 d
					SED (G)= 1,25 SED (C)= 0,83
4					MEAN (G)
	PR92B63	0,00 c	0,00 d	0,00 c	0,00 c
	PR92M35	17,50 c	4,17 d	0,00 c	0,00 c
	PR92M22	49,17 b	37,50 b	17,50 bc	21,67 ab
	PR91M10	0,83 c	0,00 d	0,00 c	0,00 c
	Zora	43,33 b	16,67 cd	13,33 bc	0,00 c
	Neoplanta	80,00 a	70,00 a	65,00 a	31,67 a
	P21T45	17,50 c	11,67 d	9,17 bc	0,83 c
	Celina	44,17 b	34,17 bc	30,00 b	17,50 b
	Adonai	80,00 a	60,00 a	57,50 a	11,67 b
	SED	7,47	5,47	6,87	3,09
	Mean (C)	36,94 a	26,02 b	21,38 b	9,26 c
					SED (G)= 2,98 SED (C)= 1,99

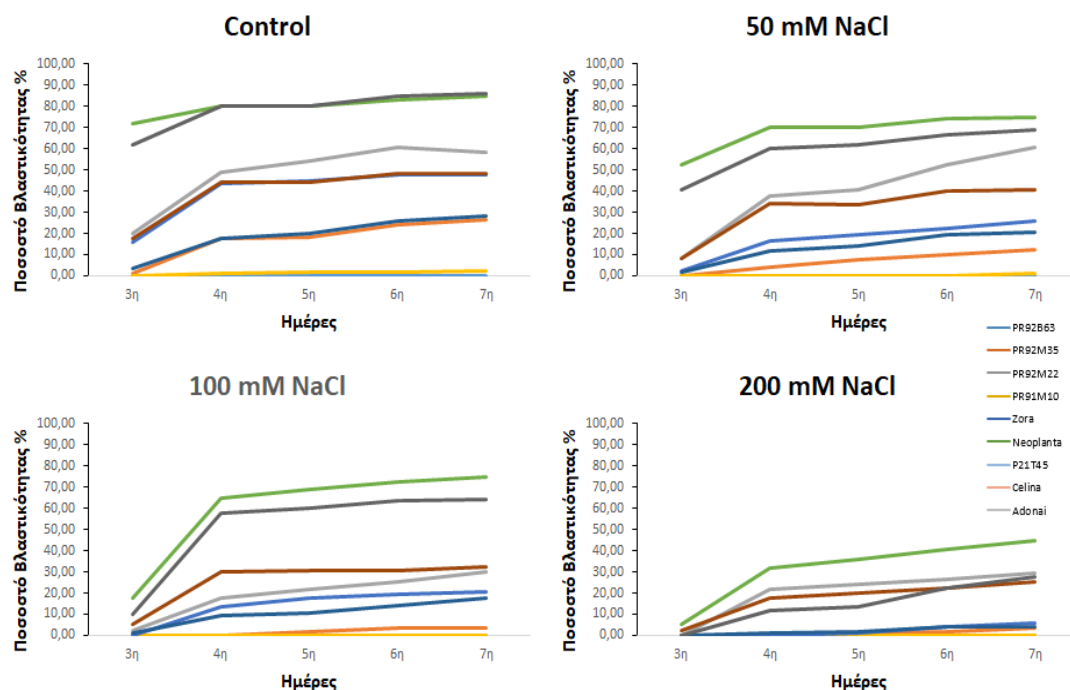
5						MEAN (G)
PR92B63	0,00 d	0,00 e	0,00 d	0,00 c		0.00e
PR92M35	18,33 d	7,50 de	1,67 cd	0,83 c		7.08ef
PR92M22	54,17 bc	40,83 b	21,67 bc	24,17 b		35.21c
PR91M10	1,67 d	0,00 e	0,00 d	0,00 c		0.42f
Zora	45,00 c	19,17 cd	17,50 bcd	0,83 c		20.62d
Neoplanta	80,00 a	70,00 a	69,17 a	35,83 a		63.75a
P21T45	20,00 d	14,17 de	10,83 bcd	1,67 c		11.67e
Celina	44,17 c	33,33 bc	30,83 b	20,00 b		32.08c
Adonai	80,00 ab	61,67 a	60,00 a	13,33 b		59.92a
SED	6,83	5,63	6,00	3,45		SED (G)= 2,81
Mean (C)	37,78 a	27,41 b	23,52 b	10,74 c		SED (C)= 1,87

6						MEAN (G)
PR92B63	0,00 g	0,00 f	0,00 c	0,00 c		0.00e
PR92M35	24,17 ef	10,00 ef	3,33 c	1,67 c		7.79d
PR92M22	60,83 bc	52,50 bc	25,00 b	26,67 b		41.50b
PR91M10	1,67 fg	0,00 f	0,00 c	0,00 c		0.42e
Zora	47,50 cd	22,50 de	19,17 bc	4,17 c		23.33c
Neoplanta	83,33 ab	74,17 a	72,50 a	40,83 a		67.71a
P21T45	25,83 de	19,17 ef	14,17 bc	4,17 c		15.83cd
Celina	48,33 cd	40,00 cd	30,83 b	22,50 b		35.41b
Adonai	85,00 a	66,67 ab	63,33 a	22,50 b		59.37a
SED	6,88	6,17	6,02	3,97		SED (G)= 2,93
Mean (C)	41,85 a	31,67 b	25,37 c	13,61 d		SED (C)= 1,95

7						MEAN (G)
PR92B63	0,00 e	0,00 e	0,00 c	0,00 c		0.00e
PR92M35	26,67 cd	12,50 de	3,33 c	3,33 c		11.46d
PR92M22	58,33 b	60,83 ab	30,00 b	29,17 b		44.58b
PR91M10	2,50 de	0,83 e	0,00 c	0,00 c		0.83e
Zora	47,50 bc	25,83 cd	20,83 bc	5,83 c		25.00c
Neoplanta	85,00 a	75,00 a	75,00 a	45,00 a		70.00a
P21T45	28,33 c	20,83 cde	17,50 bc	4,17 c		17.71cd
Celina	48,83 bc	40,83 bc	32,50 b	25,00 b		36.04b
Adonai	85,83 a	69,17 a	64,17 a	27,50 b		61.67a
SED	7,29	6,22	6,32	4,23		SED (G)= 3,06
Mean (C)	42,22 a	33,98 b	27,04 c	15,56 d		SED (C)= 2,04

Ο δείκτης απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) καθώς και η περιεκτικότητα των σποροφύτων σε υγρασία (WC %) παρουσίασε μείωση, που στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν ανάλογη με το εφαρμοζόμενο επίπεδο καταπόνησης (Πίνακας 3.8). Ωστόσο, η παρατηρούμενη μείωση δε διαφέρει σημαντικά στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης και για το σύνολο των ποικιλιών, με αποτέλεσμα να μην καθίσταται εφικτή η κατάταξη των ποικιλιών με βάση την ανθεκτικότητά τους. Βάσει αυτού,

κρίνεται ότι το γνώρισμα αυτό δεν αποτελεί αξιόπιστο κριτήριο για την επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων.



Γράφημα 3.4: Ποσοστό βλαστικότητας (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Πίνακας 3.8: Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η και 7^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				
		Control	50mM	100mM	200mM	
5						MEAN (G)
	PR92B63	59,40 b	57,59 bc	59,73 a	56,03 a	58,19abc
	PR92M35	54,79 b	57,30 bc	54,69 a	55,04 a	55,45c
	PR92M22	58,70 b	59,08 abc	56,72 a	56,63 a	57,78bc
	PR91M10	54,46 b	54,46 c	56,52 a	56,31 a	55,44c
	Zora	57,46 b	58,51 bc	56,71 a	57,68 a	57,59bc
	Neoplanta	68,09 a	66,94 a	59,75 a	54,25 a	62,26a
	P21T45	57,25 b	58,47 bc	55,52 a	56,38 a	56,90c
	Celina	59,58 b	56,45 bc	60,52 a	55,08 a	57,91abc
	Adonai	66,97 a	63,26 ab	58,51 a	57,18 a	61,48ab
	SED	2,15	2,47	2,19	3,98	SED (G)= 1,40
	Mean (C)	59,63 a	59,12 a	57,63 ab	56,07 b	SED (C)= 0,99

7						MEAN (G)
PR92B63	52,62 e	54,16 b	60,01 a	59,62 a		56,60d
PR92M35	60,46 cde	38,67 c	46,49 b	45,98 c		47,90e
PR92M22	68,34 abc	59,56 ab	58,25 a	53,09 b		59,81bcd
PR91M10	56,72 de	60,37 ab	56,59 ab	57,93 ab		57,90d
Zora	60,48 cde	58,01 ab	54,01 ab	54,82 ab		56,83d
Neoplanta	73,73 a	65,62 a	59,96 a	57,44 ab		64,19a
P21T45	63,99 bcd	58,26 ab	55,32 ab	56,76 ab		58,58cd
Celina	65,78 abcd	61,40 ab	64,66 a	59,47 a		62,83abc
Adonai	70,98 ab	65,03 a	58,07 a	57,88 ab		62,99ab
SED	1,94	2,09	3,33	1,65		SED (G)= 1,37
Mean (C)	63,68 a	57,90 b	57,04 b	55,81 b		SED (C)= 0,91

Όσον αφορά την περιεκτικότητα των σποροφύτων σε υγρασία (WC %), στο σύνολο των ποικιλιών παρατηρήθηκε μία τάση μείωσης που ήταν ευθέως ανάλογη με το εφαρμοζόμενο επίπεδο καταπόνησης (Πίνακας 3.9). Κατά την 7^η ημέρα και στο υψηλότερο επίπεδο καταπόνησης (200mM NaCl), την υψηλότερη μείωση, συγκριτικά με τον μάρτυρα, εμφάνισε η ποικιλία Adonai ενώ αντίθετα, χαμηλότερη μείωση σημειώθηκε στην ποικιλία P21T45.

Πίνακας 3.9: Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 7^η, και 12^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				
		Control	50mM	100mM	200mM	MEAN (G)
7						
	PR92B63	70,66 ab	67,55 ab	67,83 a	65,26 ab	67,82abc
	PR92M35	66,58 b	63,52 c	61,28 c	61,16 b	63,14e
	PR92M22	74,41 ab	64,82 bc	63,11 bc	61,62 ab	65,99bcde
	PR91M10	65,63 b	64,29 bc	63,41 bc	63,53 ab	64,21de
	Zora	72,21 ab	64,64 bc	62,84 bc	62,10 ab	65,45cde
	Neoplanta	78,04 a	70,18 a	65,93 ab	60,77 ab	68,73ab
	P21T45	80,92 a	66,02 bc	65,39 ab	66,76 a	69,77a
	Celina	71,26 ab	65,47 bc	64,32 abc	63,45 ab	66,12bcd
	Adonai	74,63 ab	71,17 a	65,08 abc	59,89 ab	67,69abc
	SED	3,12	1,12	1,19	1,79	SED (G)= 0,91
	Mean (C)	72,7 a	66,4 b	64,35 c	62,73 d	SED (C)= 0,61

12						MEAN (G)
PR92B63	76,39 bc	71,76 b	75,38 a	73,64 a		74,29ab
PR92M35	76,92 bc	72,17 ab	69,83 b	68,39 a		71,82bc
PR92M22	82,68 a	74,56 ab	69,75 b	69,39 a		74,09ab
PR91M10	74,44 c	73,03 ab	69,69 b	67,89 a		71,26bc
Zora	80,13 ab	74,87 ab	71,01 ab	70,67 a		74,17ab
Neoplanta	83,18 a	79,19 a	71,31 ab	67,66 a		75,33a
P21T45	74,58 c	70,69 b	72,49 ab	72,67 a		72,61bc
Celina	76,86 bc	70,81 b	71,96 ab	69,85 a		72,37bc
Adonai	82,28 a	79,14 a	71,07 ab	69,38 a		75,47a
SED	1,59	2,15	1,40	1,61	SED (G)= 0,80	
Mean (C)	78,6 a	74,02 b	71,39 c	69,94 d	SED (C)= 0,54	

Αναφορικά με τα γνωρίσματα που σχετίζονται με την ανάπτυξη των νεαρών σποροφύτων, και συγκεκριμένα το μήκος ρίζας και βλαστού, η στατιστική ανάλυση κατέδειξε σημαντικές διαφορές για το σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών. Στο πλείστο των περιπτώσεων, η επίδραση του στρες ήταν ανάλογη του επιπέδου του, με τη δραστικότερη μείωση να σημειώνεται στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200mM NaCl). Είναι αξιοσημείωτο ωστόσο ότι οι υπό μελέτη ποικιλίες παρουσίασαν σημαντικές διαφορές αναφορικά με το δυναμικό ανάπτυξης υπό συνθήκες απουσίας καταπόνησης.

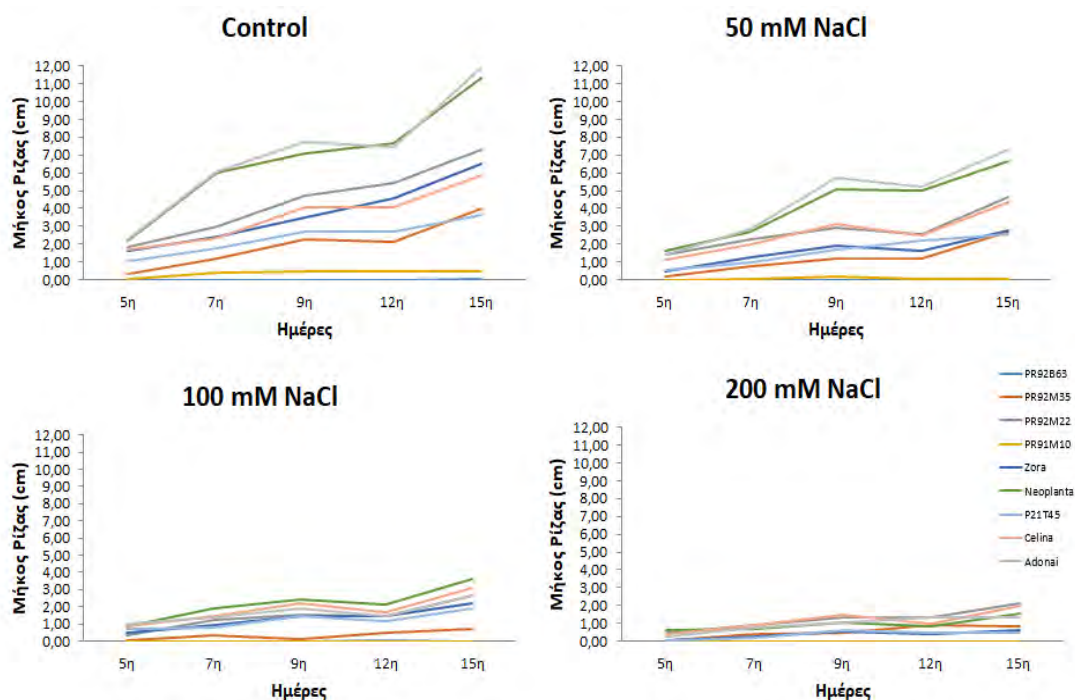
Σε σχέση με το γνώρισμα του μήκους ρίζας των σποροφύτων, την υψηλότερη επίδοση παρουσίασαν οι ποικιλίες PR92M22, Celina, Neoplanta και Adonai (Πίνακας 3.10) (Γράφημα 3.5). Ωστόσο, στο μεσαίο και ιδιαίτερα στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης, ακόμη και οι προαναφερθείσες ποικιλίες εμφάνισαν σημαντική μείωση του μήκους ρίζας. Στο υψηλό επίπεδο στρες, οι ποικιλίες PR92M22 και Celina εμφάνισαν το υψηλότερο επίπεδο ανθεκτικότητας.

Πίνακας 3.10: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				
		Control	50mM	100mM	200mM	
5						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 c	0,00 d	0,00 f	0,00 d	0,00d
	PR92M35	0,34 c	0,15 cd	0,04 f	0,05 d	0,14b
	PR92M22	1,85 a	1,44 ab	0,32 e	0,49 ab	1,02d
	PR91M10	0,03 c	0,00 d	0,00 f	0,00 d	0,01d
	Zora	1,61 ab	0,46 cd	0,48 de	0,01 d	0,64c
	Neoplanta	2,23 a	1,65 a	0,83 bc	0,64 a	1,34a
	P21T45	1,07 b	0,57 c	0,72 cd	0,07 cd	0,59c
	Celina	1,73 ab	1,13 b	0,86 ab	0,43 abc	1,03b
	Adonai	2,27 a	1,40 ab	1,02 a	0,26 bcd	1,24ab
	SED	0,21	0,15	0,06	0,11	SED (G)= 0,07
	Mean (C)	1,23 a	0,75 b	0,46 c	0,21 d	SED (C)= 0,05
7						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 f	0,00 f	0,00 f	0,00 d	0,00e
	PR92M35	1,22 de	0,76 de	0,38 ef	0,38 bc	0,68d
	PR92M22	2,98 b	2,28 ab	1,21 bcd	0,89 a	1,83b
	PR91M10	0,43 ef	0,06 ef	0,00 f	0,00 d	0,12e
	Zora	2,45 bc	1,30 cd	0,96 cd	0,23 cd	1,23c
	Neoplanta	6,01 a	2,70 ab	1,89 a	0,71 ab	2,83a
	P21T45	1,74 cd	0,95 d	0,76 de	0,16 cd	0,90d
	Celina	2,37 bc	2,01 bc	1,49 ab	0,92 a	1,69b
	Adonai	6,07 a	2,85 a	1,40 bc	0,73 a	2,77a
	SED	0,29	0,22	0,14	0,11	SED (G)= 0,10
	Mean (C)	2,58 a	1,43 b	0,89 c	0,45 d	SED (C)= 0,07
9						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 e	0,00 f	0,00 d	0,00 c	0,00e
	PR92M35	2,28 cde	1,20 de	0,11 d	0,49 bc	1,02d
	PR92M22	4,71 b	2,95 bc	1,54 bc	1,32 a	2,63b
	PR91M10	0,45 de	0,18 ef	0,00 d	0,00 c	0,16e
	Zora	3,52 bc	1,93 cd	1,44 c	0,54 bc	1,86c
	Neoplanta	7,08 a	5,07 a	2,41 a	1,07 ab	3,91a
	P21T45	2,67 bcd	1,69 d	1,43 c	0,58 bc	1,59cd
	Celina	4,08 bc	3,13 b	2,21 ab	1,51 a	2,73b
	Adonai	7,71 a	5,72 a	1,87 abc	1,06 ab	4,09a
	SED	0,69	0,34	0,22	0,18	SED (G)= 0,21
	Mean (C)	3,61 a	2,43 b	1,22 c	0,73 d	SED (C)= 0,14

12						MEAN (G)
PR92B63	0,01 d	0,00 c	0,01 c	0,01 c	0,01e	
PR92M35	2,10 cd	1,17 bc	0,46 c	0,91 ab	1,16d	
PR92M22	5,45 ab	2,56 b	1,42 b	1,37 a	2,70b	
PR91M10	0,45 d	0,02 c	0,00 c	0,00 c	0,10e	
Zora	4,54 bc	1,63 bc	1,44 b	0,44 bc	2,01bc	
Neoplanta	7,63 a	5,03 a	2,13 a	0,83 ab	3,90a	
P21T45	2,67 cd	2,22 b	1,16 b	0,48 bc	1,51cd	
Celina	4,08 bc	2,46 b	1,65 ab	0,96 ab	2,23bc	
Adonai	7,42 a	5,22 a	1,50 b	1,34 a	3,87a	
SED	0,75	0,54	0,18	0,2	SED (G)= 0,24	
Mean (C)	3,75 a	2,26 b	1,08 c	0,7 c	SED (C)= 0,16	

15						MEAN (G)
PR92B63	0,05 e	0,00 e	0,00 d	0,00 f	0,01e	
PR92M35	3,96 bc	2,68 cd	0,72 cd	0,84 cde	2,05d	
PR92M22	7,27 b	4,61 bc	2,68 ab	2,14 a	4,17b	
PR91M10	0,45 de	0,04 de	0,00 d	0,00 f	0,06e	
Zora	6,50 bc	2,74 c	2,21 b	0,65 def	3,02cd	
Neoplanta	11,31 a	6,67 ab	3,65 a	1,53 abc	5,79a	
P21T45	3,61 cd	2,54 cde	1,93 bc	0,50 ef	2,45d	
Celina	5,85 bc	4,37 bc	3,08 ab	1,97 ab	3,82bc	
Adonai	11,90 a	7,29 a	2,66 ab	1,32 bcd	5,79a	
SED	1,01	0,79	0,42	0,22	SED (G)= 0,34	
Mean (C)	5,62 a	3,43 b	1,88 c	0,99 d	SED (C)= 0,23	



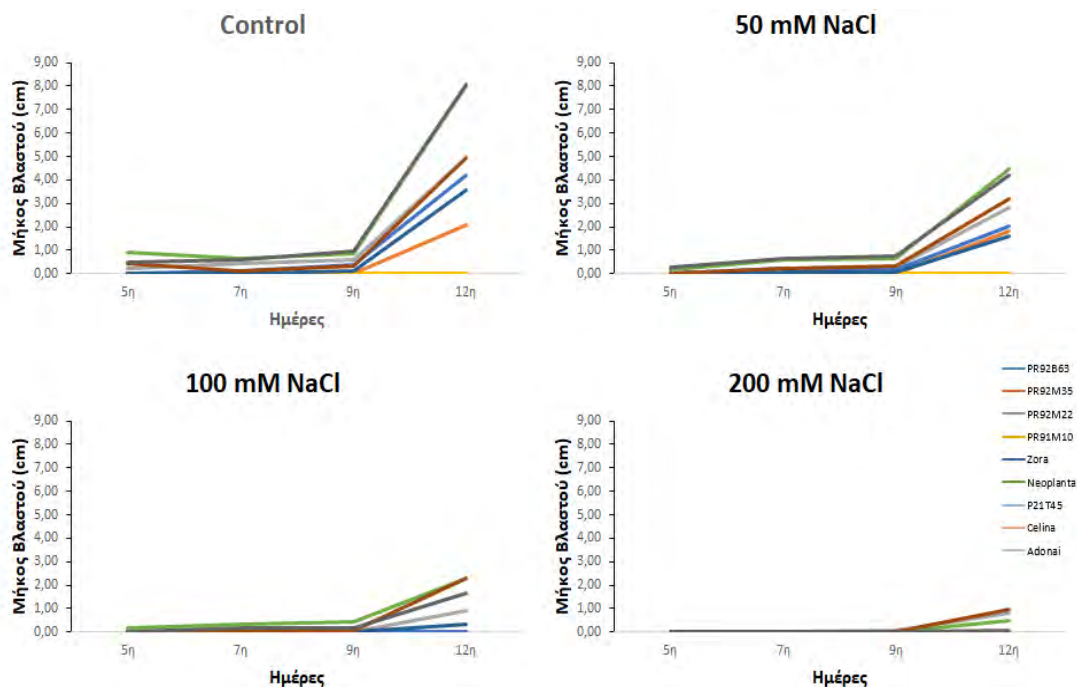
Γράφημα 3.5: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Ως προς το γνώρισμα του μήκους βλαστού, τη μεγαλύτερη αντοχή στην καταπόνηση εμφάνισαν οι ποικιλίες Neoplanta, PR92M22, Celina και Adonai (Πίνακας 3.11) (Γράφημα 3.6). Είναι αξιοσημείωτο ωστόσο, ότι οι εν λόγω ποικιλίες παρουσίασαν δραστική μείωση του μήκους βλαστού στο υψηλό αλλά και στο μεσαίο επίπεδο στρες. Ενδεικτικά, την 12η ημέρα το μήκος του βλαστού της ποικιλίας Neoplanta στο μάρτυρα και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης 200 mM NaCl κυμάνθηκε 8,04 cm και 0,48 cm, αντίστοιχα, ενώ τα μήκη βλαστού στις ποικιλίες PR92M22 είναι 4,95 και 0,81 cm και στην Celina είναι 4,93 και 0,96 cm αντιστοίχως. Αντιθέτως, οι ποικιλίες PR92B63, PR91M10 και PR92M35 παρουσίασαν αδυναμία ανάπτυξης βλαστού καθ' όλο σχεδόν το διάστημα παρατήρησης.

Πίνακας 3.11: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, 12^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				
		Control	50mM	100mM	200mM	
5						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 a	0,00c
	PR92M35	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 a	0,00c
	PR92M22	0,23 b	0,00 b	0,00 b	0,00 a	0,06c
	PR91M10	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 a	0,00c
	Zora	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 a	0,00c
	Neoplanta	0,93 a	0,15 a	0,15 a	0,00 a	0,31a
	P21T45	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 a	0,00c
	Celina	0,46 ab	0,03 b	0,00 b	0,00 a	0,12bc
	Adonai	0,50 ab	0,30 ab	0,00 b	0,00 a	0,20ab
	SED	0,17	0,05	0,00	0,00	SED (G)= 0,04
	Mean (C)	0,23 a	0,05 b	0,02 b	0,00 b	SED (C)= 0,03
7						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 b	0,00 b	0,00 c	0,00 a	0,00c
	PR92M35	0,00 b	0,00 b	0,00 c	0,00 a	0,00c
	PR92M22	0,42 ab	0,21 b	0,00 c	0,00 a	0,16b
	PR91M10	0,00 b	0,00 b	0,00 c	0,00 a	0,00c
	Zora	0,13 b	0,23 b	0,00 c	0,00 a	0,09bc
	Neoplanta	0,65 a	0,58 a	0,32 a	0,00 a	0,36a
	P21T45	0,00 b	0,05 b	0,00 c	0,00 a	0,01c
	Celina	0,12 b	0,21 b	0,00 c	0,00 a	0,08bc
	Adonai	0,61 a	0,65 a	0,18 b	0,00 a	0,36a
	SED	0,13	0,08	0,03	0,00	SED (G)= 0,04
	Mean (C)	0,21 a	0,21 a	0,00 b	0,00 b	SED (C)= 0,03
9						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 e	0,00 d	0,00 c	0,00 a	0,00d
	PR92M35	0,00 e	0,00 d	0,00 c	0,00 a	0,00d
	PR92M22	0,62 bc	0,27 bc	0,00 c	0,07 a	0,24b
	PR91M10	0,00 e	0,00 d	0,00 c	0,00 a	0,00d
	Zora	0,41 cd	0,17 bcd	0,00 c	0,00 a	0,14bc
	Neoplanta	0,84 ab	0,67 a	0,43 a	0,00 a	0,48a
	P21T45	0,11 de	0,08 cd	0,00 c	0,00 a	0,05cd
	Celina	0,33 cde	0,35 b	0,06 bc	0,00 a	0,18b
	Adonai	0,99 a	0,76 a	0,20 b	0,00 a	0,49a
	SED	0,11	0,06	0,06	0,03	SED (G)= 0,03
	Mean (C)	0,36 a	0,23 b	0,08 c	0,01 d	SED (C)= 0,02

12						MEAN (G)
PR92B63	0,00 d	0,00 d	0,00 c	0,00 b		0,00e
PR92M35	2,08 cd	1,81 c	0,00 c	0,00 b		0,97d
PR92M22	4,95 b	2,83 bc	0,91 bc	0,81 a		2,37c
PR91M10	0,00 d	0,00 d	0,00 c	0,00 b		0,00e
Zora	4,21 bc	2,01 c	0,00 c	0,00 b		1,56d
Neoplanta	8,04 a	4,48 a	2,28 a	0,48 ab		3,82a
P21T45	3,56 bc	1,59 cd	0,32 c	0,00 b		1,36d
Celina	4,93 b	3,17 abc	2,29 a	0,96 a		2,84bc
Adonai	8,08 a	4,22 ab	1,64 ab	0,07 b		3,50ab
SED	0,78	0,48	0,37	0,16		SED (G)= 0,25
Mean (C)	3,98 a	2,23 b	0,82 c	0,26 d		SED (C)= 0,17
15						MEAN (G)
PR92B63	0,00 c	0,00 b	0,00 b	0,00 a		0,00d
PR92M35	0,68 abc	0,00 b	0,00 b	0,00 a		0,17cd
PR92M22	1,00 a	0,34 b	0,00 b	0,04 a		0,34bc
PR91M10	0,00 c	0,00 b	0,00 b	0,00 a		0,00d
Zora	0,89 ab	0,31 b	0,00 b	0,00 a		0,30c
Neoplanta	1,14 a	0,91 a	0,36 a	0,00 a		0,60a
P21T45	0,30 bc	0,05 b	0,00 b	0,00 a		0,08d
Celina	0,87 ab	0,44 b	0,00 b	0,01 a		0,33bc
Adonai	1,06 a	0,92 a	0,10 b	0,01 a		0,52ab
SED	0,21	0,13	0,07	0,01		SED (G)= 0,06
Mean (C)	0,66 a	0,33 b	0,05 c	0,01 c		SED (C)= 0,04



Γράφημα 3.6: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5η , 7η , 9η , 12η και 15η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Σε συμφωνία με τα ευρήματα που αφορούν στην ανάπτυξη της ρίζας και του βλαστού, υψηλότερο δείκτη ευρωστίας (SVI) εμφάνισαν οι ποικιλίες Neoplanta, Adonai, Celina και PR92M22, ενώ οι ποικιλίες Neoplanta και PR92M22 παρουσίασαν ικανοποιητική αντίσταση ακόμη και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200mM NaCl) (Πίνακας 3.12). Αντιστοίχως, ως προς το γνώρισμα αυτό, η χειρότερη επίδοση σημειώθηκε στις ποικιλίες PR92B63 και PR91M10 ακολουθούμενες από τις ποικιλίες P21T45 και PR92M35 παρουσίασαν αδυναμία ανάπτυξης βλαστού καθ' όλο σχεδόν το διάστημα παρατήρησης.

Τέλος, στα υπό μελέτη γνωρίσματα το στρες αλατότητας δεν οδήγησε στην εμφάνιση σπορόφυτων με μη φυσιολογικό φαινότυπο.

Πίνακας 3.12: Δείκτης Ευρωστίας (SVI) ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 7^η και 15^η ημέρα της καταπόνησης αλατότητας.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση NaCl (mM) (C)				
		Control	50mM	100mM	200mM	
7						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 c	0,00 d	0,00 e	0,00 b	0,00e
	PR92M35	35,76 c	8,30 d	1,67 de	1,67 b	11,85de
	PR92M22	199,55 b	151,33 b	36,55 cd	27,26 a	103,67b
	PR91M10	1,42 c	0,20 d	0,00 e	0,00 b	0,40e
	Zora	119,73 bc	46,02 cd	19,90 cde	1,94 b	46,90cd
	Neoplanta	566,94 a	248,53 a	165,11 a	31,72 a	253,07a
	P21T45	52,58 c	22,93 cd	13,33 cde	0,87 b	22,43de
	Celina	115,22 bc	91,78 bc	47,27 c	23,29 a	69,39bc
	Adonai	636,49 a	241,82 a	101,23 b	19,99 a	249,88a
SED	39,61	21,05	10,79	4,35	SED (G)= 11,59	
Mean (C)	191,96 a	90,1 b	42,78 c	11,86 d	SED (C)= 7,23	
15						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 d	0,00 d	0,00 d	0,00 b	0,00d
	PR92M35	231,04 cd	79,64 d	9,22 d	4,62 b	81,13d
	PR92M22	690,94 b	428,92 b	127,71 c	119,55 a	341,79b
	PR91M10	4,86 d	0,67 d	0,00 d	0,00 b	1,38d
	Zora	650,60 b	157,53 cd	89,89 cd	14,57 b	228,15c
	Neoplanta	1215,41 a	673,44 a	361,75 a	112,95 a	590,89a
	P21T45	194,46 cd	95,04 d	66,04 cd	6,75 b	90,57d
	Celina	532,27 bc	374,28 bc	166,07 bc	84,12 a	289,18bc
	Adonai	1296,25 a	738,15 a	240,58 b	81,24 a	589,06a
SED	114,75	71,15	30,97	17,37	SED (G)= 34,90	
Mean (C)	535,09 a	283,07 b	117,92 c	47,09 d	SED (C)= 23,27	

3.3 Καταπόνηση παρουσία ζιζανιοκτόνου

Στόχο της παρούσας ενότητας αποτέλεσε η αξιολόγηση του δυναμικού βλάστησης και ανάπτυξης των ποικιλιών παρουσία του ζιζανιοκτόνου Sencor 70W που περιέχει τη δραστική ουσία metribuzin σε συγκέντρωση 70 %. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι οι ποικιλίες παρουσιάζουν διαφορετική απόκριση στο ζιζανιοκτόνο, ενώ παράλληλα υπογραμμίζουν την παραλλακτικότητά τους αναφορικά με την αντοχή τους στα εφαρμοζόμενα επίπεδα καταπόνησης.

Για τις περισσότερες ποικιλίες, η έναρξη της βλάστησης σημειώθηκε την 3^η ημέρα. Ωστόσο, στο διάστημα αυτό σημειώθηκε σημαντική διαφοροποίηση τόσο σε επίπεδο ποικιλίας όσο και σε επίπεδο καταπόνησης (Πίνακας 3.13) (Γράφημα 3.7). Ειδικότερα, στους μάρτυρες, υψηλότερο ποσοστό βλαστικότητας παρουσίασαν οι ποικιλίες Neoplanta και Adonai, ακολουθούμενες από τις ποικιλίες Celina, Zora και PR92M22. Οι ποικιλίες P21T45 και PR92M35 παρουσίασαν ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό βλάστησης, ενώ οι PR92B63, PR91M10 χαρακτηρίστηκαν από αδυναμία βλάστησης (0 %). Παρουσία ζιζανιοκτόνου, οι ποικιλίες Neoplanta και Adonai εμφάνισαν τη μεγαλύτερη αντίσταση στην καταπόνηση, αφού παρουσίασαν ικανοποιητικό επίπεδο βλάστησης τόσο στα χαμηλά (0,1 και 1 mg/l) όσο και στα υψηλότερα επίπεδα καταπόνησης (10 και 100 mg/l) (3^η ημέρα), υποδεικνύοντας τη δυνατότητά τους να διατηρήσουν ικανοποιητικό δυναμικό βλάστησης υπό συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης ζιζανιοκτόνου. Η υπεροχή των προαναφερθέντων ποικιλιών διατηρήθηκε για όλο το διάστημα παρατήρησης. Η κατάταξη των ποικιλιών αναφορικά με το ποσοστό βλάστησης ήταν η ακόλουθη: Adonai, Neoplanta, Celina, PR92M22, Zora, P21T45, PR92M35, PR91M10 και PR92B63.

Παρά τις διαφορές σε επίπεδο γονοτύπου, είναι αξιοσημείωτο ότι η μείωση του δυναμικού βλάστησης παρουσία ζιζανιοκτόνου ακολούθησε ποιοτική και όχι ποσοτική τάση. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες ποικιλίες παρουσίασαν μερική πτώση του δυναμικού βλάστησης ακόμη και στη χαμηλή δόση ζιζανιοκτόνου, η οποία όμως δεν ήταν ευθέως ανάλογη με την εφαρμοζόμενη δόση.

Πίνακας 3.13: Ποσοστό βλαστικότητας (GP%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

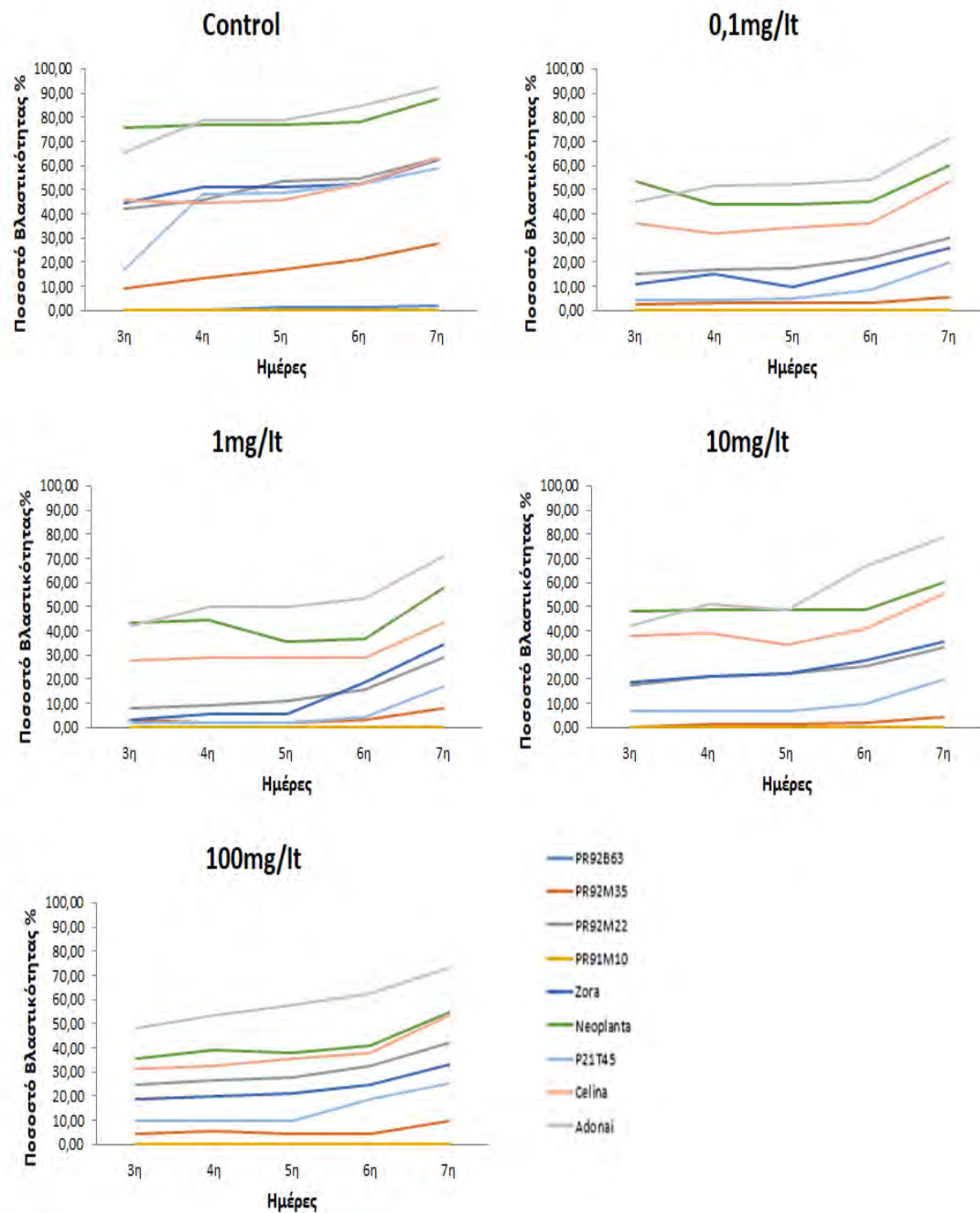
Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση Herbicide (mg/lit) (C)				
		Control	0,1	1	10	100
3						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 d	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 e
	PR92M35	8,89 d	2,50 c	3,33 c	0,00 c	4,44 de
	PR92M22	42,22 c	15,00 bc	7,78 c	17,78 b	24,44 bcd
	PR91M10	0,00 d	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 e
	Zora	44,44 c	10,83 c	3,33 c	18,89 b	18,89 bcde
	Neoplanta	75,55 a	53,33 a	43,33 a	47,78 a	35,56 ab
	P21T45	16,66 d	4,17 c	2,22 c	6,67 bc	10,00 cde
	Celina	45,56 bc	35,83 ab	27,78 b	37,78 a	31,11 abc
	Adonai	65,56 ab	45,00 a	42,22 ab	42,22 a	47,78 a
	SED	6,25	7,38	4,6	4,83	6,48
	Mean (C)	33,21 a	19,15 b	19,01 b	14,44 b	18,52 b
						SED (G)= 2,67 SED (C)= 1,99
4						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 e
	PR92M35	13,33 c	3,33 c	2,22 c	1,11 c	5,56 de
	PR92M22	45,56 b	16,67 bc	8,89 c	21,11 b	26,67 bcd
	PR91M10	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 e
	Zora	51,11 b	15,00 bc	5,56 c	21,11 b	20,00 bcde
	Neoplanta	76,67 a	44,17 a	44,44 a	48,89 a	38,89 ab
	P21T45	47,78 b	4,17 c	2,22 c	6,67 bc	10,00 cde
	Celina	44,44 b	31,67 ab	28,89 b	38,89 a	32,22 abc
	Adonai	78,89 a	51,67 a	50,00 a	51,11 a	53,33a
	SED	4,75	7,51	3,07	5,25	6,91
	Mean (C)	39,75 a	20,74 b	20,99 b	15,80 b	18,51 a
						SED (G)= 2,54 SED (C)= 1,83
5						MEAN (G)
	PR92B63	1,11 e	0,00 c	0,00 e	0,00 c	0,00 d
	PR92M35	16,67 d	3,33 c	2,22 de	1,11 c	4,44 d
	PR92M22	53,33 bc	17,50 bc	11,11 cd	22,22 b	27,78 bc
	PR91M10	0,00 e	0,00 c	0,00 e	0,00 c	0,00 d
	Zora	51,11 b	10,00 bc	5,56 c	22,22 b	21,11 bcd
	Neoplanta	76,67 a	44,17 a	35,56 b	48,89 a	37,78 ab
	P21T45	48,89 c	5,00 c	2,22 de	6,67 c	10,00 cd
	Celina	45,56 c	34,17 ab	28,89	34,44 ab	35,56 b
	Adonai	78,89 a	52,50 a	50,00 a	48,89 a	57,78 a
	SED	4,56	7,2	3,13	4,86	6,47
	Mean (C)	39,87 a	21,60 b	19,88 b	13,54 c	18,51 bc
						SED (G)= 2,43 SED (C)= 1,81

6							MEAN (G)
PR92B63	1,11 d	0,00 d	0,00 e	0,00 d	0,00 e	0,22 f	
PR92M35	21,11 c	3,33 d	3,33 de	2,22 d	4,44 de	6,88 f	
PR92M22	54,44 b	21,67 bcd	15,56 cde	25,56 bc	32,22 bc	29,90 d	
PR91M10	0,00 d	0,00 d	0,00 e	0,00 d	0,00 e	0,00 f	
Zora	52,22 b	17,50 cd	18,89 cd	27,78 bc	24,44 bcd	28,17 d	
Neoplanta	77,78 a	45,00 ab	36,67ab	48,89 ab	41,11 ab	49,44 b	
P21T45	52,22 b	8,33 d	4,44 de	10,00 cd	18,89 cde	18,78 e	
Celina	52,22 b	35,83 abc	28,89 bc	41,11 b	37,78 bc	39,17 c	
Adonai	84,44 a	54,17 a	53,33 a	66,67 a	62,22 a	64,17 a	
SED	5,12	7,82	5,14	6,49	6,49	SED (G)= 2,81	
Mean (C)	43,95 a	24,56 b	24,44 b	17,90 c	20,69 bc	SED (C)= 2,10	

7							MEAN (G)
PR92B63	2,22 d	0,00 d	0,00 f	0,00 d	0,00 e	0,44 g	
PR92M35	27,78 c	5,83 cd	7,78 ef	4,44 d	10,00 de	11,17 f	
PR92M22	63,33 b	30,00 bc	28,89 cd	33,33 bc	42,22 bc	39,55 d	
PR91M10	0,00 d	0,00 d	0,00 f	0,00 d	0,00 e	0,00 g	
Zora	62,22 b	25,83 c	34,44 c	35,56 bc	33,33 bc	38,28 d	
Neoplanta	87,78 a	60,00 a	57,78 ab	60,00 a	54,44 ab	64,00 b	
P21T45	58,89 b	19,71 cd	16,67 de	20,00 cd	25,56 cd	28,06 e	
Celina	63,33 b	53,33 ab	43,33 bc	55,56 ab	53,33 ab	53,78 c	
Adonai	92,22 a	71,66 a	71,11 a	78,89 a	73,33 a	74,44 a	
SED	4,71	7,31	4,7	7,01	6,38	SED (G)= 2,74	
Mean (C)	50,86 a	32,47 b	31,97 b	28,89 b	29,54 b	SED (C)= 2,04	

Αναφορικά με το δείκτη απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) καθώς και την περιεκτικότητα των σποροφύτων σε υγρασία (WC %), τα ευρήματα της μελέτης καταδεικνύουν την αδυναμία συσχέτισης των γνωρισμάτων αυτών είτε με το επίπεδο καταπόνησης είτε με την ποικιλία (Πίνακας 3.14, 3.15).

Δεδομένου ότι δεν καθίσταται εφικτή η κατάταξη των ποικιλιών βάσει της απόκρισής τους, εκτιμάται ότι τα γνωρίσματα αυτά δεν μπορεί να αξιοποιηθούν ως κριτήρια για την επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων.



Γράφημα 3.7: Ποσοστό βλαστικότητας (GR%) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/Lt (C)) από την 3^η έως την 7^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Πίνακας 3.14: Ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 5^η και 7^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση Herbicide (mg/lit) (C)					
		Control	0,1	1	10	100	
5							MEAN (G)
	PR92B63	61,31 cde	61,01 b	61,44 bcd	54,45 e	63,54 b	60,35 d
	PR92M35	58,59 de	53,66 c	53,76 d	59,24 cde	57,41 cd	56,53 e
	PR92M22	68,58 ab	61,29 b	62,59 bc	64,29 bcd	62,15 bc	63,78 bc
	PR91M10	55,38 e	58,62 bc	56,05 cd	58,29 de	56,25 d	56,92 e
	Zora	58,56 de	56,84 bc	67,50 ab	66,82 abc	62,57 bc	62,45 cd
	Neoplanta	73,29 a	74,07 a	72,10 a	70,10 ab	71,85 a	72,28 a
	P21T45	62,31 cd	59,46 bc	62,40 bc	52,19 e	63,97 b	60,07 d
	Celina	66,89 bc	59,14 bc	62,74 bc	69,46 ab	71,78 a	66,00 b
	Adonai	71,45 ab	73,10 a	71,68 a	72,62 a	73,52 a	72,47 a
	SED	1,8	2,08	2,37	2,32	1,65	SED (G)= 0,92
	Mean (C)	64,04 a	61,91 b	63,36 ab	63,05 ab	64,78 a	SED (C)= 0,69
7							MEAN (G)
	PR92B63	57,76 ab	68,57 ab	56,47 cd	57,86 a	62,35 bc	60,60 cd
	PR92M35	52,06 b	60,51 b	55,67 d	59,24 a	61,56 c	57,80 d
	PR92M22	61,51 ab	69,29 ab	66,98 ab	63,33 a	63,74 bc	64,97 bc
	PR91M10	51,68 b	62,46 b	58,20 bcd	58,42 a	62,82 bc	58,71 d
	Zora	64,24 a	72,25 a	68,94 a	66,91 a	75,26 a	69,52 a
	Neoplanta	65,57 a	74,25 a	66,76 abc	68,22 a	68,99 ab	68,76 ab
	P21T45	60,07 ab	71,98 a	65,98 abcc	60,35 a	63,29 bc	64,53 b
	Celina	61,77 ab	62,33 b	67,98 ab	65,66 a	64,86 bc	64,51 bc
	Adonai	66,33 a	68,74 ab	66,65 abc	64,88 a	65,54 bc	66,42 ab
	SED	3,47	1,89	3,1	4,02	2,2	SED (G)= 1,41
	Mean (C)	60,11 c	67,82 a	63,74 b	62,76 bc	63,37 ab	SED (C)= 1,95

Πίνακας 3.15: Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των σποροφύτων (WC %) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 7^η και 11^η της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

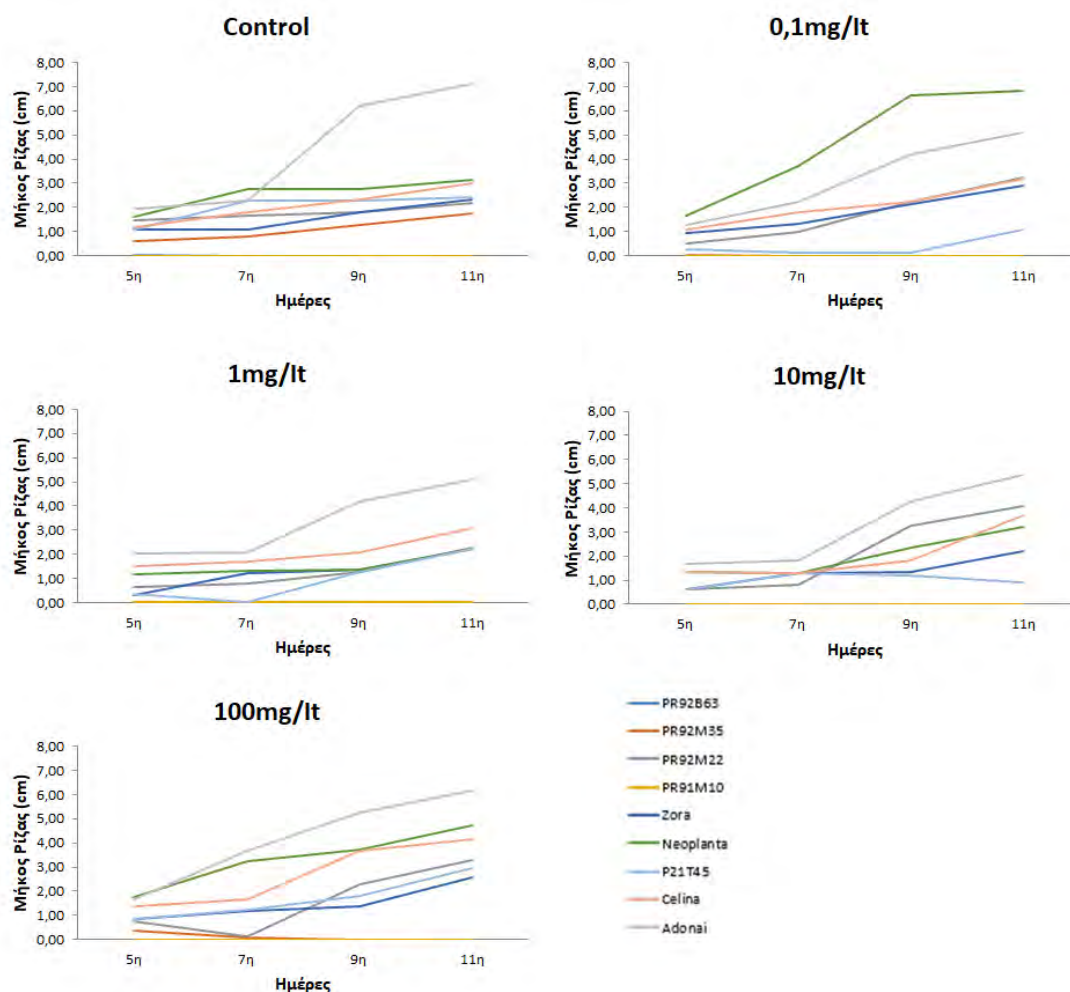
Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση Herbicide (mg/lit) (C)					
		Control	0,1	1	10	100	
7							MEAN (G)
	PR92B63	67,01 abc	76,32 a	67,73 b	67,75 a	70,68 b	69,60 bc
	PR92M35	62,84 bc	72,83 ab	73,38 ab	71,34 a	73,51 ab	70,77 ab
	PR92M22	65,04 abc	75,06 a	70,17 ab	69,61 a	69,88 b	69,95 bc
	PR91M10	60,63 c	68,87 b	68,94 ab	68,02 a	71,96 ab	67,84 c
	Zora	67,05 abc	74,91 a	74,49 ab	68,52 a	76,52 a	72,30 ab
	Neoplanta	71,27 a	74,95 a	75,21 a	71,81 a	72,98 ab	73,24 a
	P21T45	69,66 ab	73,69 ab	72,49 ab	71,07 a	72,62 ab	71,90 ab
	Celina	70,40 ab	71,00 ab	72,59 ab	69,67 a	68,59 b	70,45bc
	Adonai	70,38 ab	71,54 ab	72,33 ab	66,86 a	71,66 ab	70,55 ab
	SED	2,26	1,65	2,13	2,16	1,51	SED (G)= 0,88
	Mean (C)	69,4 c	73,24 a	71,92 a	69,4 b	72,05 a	SED (C)= 0,66

11							MEAN (G)
PR92B63	73,13 abc	75,58 ab	71,29 cd	74,99 a	78,14 ab	69,90 bc	
PR92M35	69,94 bc	75,69 ab	76,44 ab	75,12 a	77,29 b	70,77 ab	
PR92M22	77,05 abc	77,11 ab	78,66 a	75,28 a	77,18 b	69,95 bc	
PR91M10	66,13 c	73,94 b	67,40 d	72,72 a	78,38 ab	67,84 c	
Zora	73,59 abc	75,15 ab	74,94 abc	73,27 a	81,74 a	72,30 ab	
Neoplanta	73,94 abc	80,23 a	79,09 a	81,54 a	81,22 ab	73,24 a	
P21T45	81,11 ab	75,79 ab	72,10 bcd	71,76 a	78,70 ab	71,90 ab	
Celina	81,04 ab	77,77 ab	76,36 ab	74,25 a	80,16 ab	70,45 bc	
Adonai	81,47 a	79,96 a	78,77 a	77,32 a	79,27 ab	70,55 ab	
SED	3,36	1,51	1,42	3,66	1,23	SED (G)= 1,10	
Mean (C)	75,27 b	76,8 b	75,01 b	75,14 b	79,12 a	SED (C)= 0,82	

Όσον αφορά τα αναπτυξιακά γνωρίσματα, επηρεάστηκαν, αλλά όχι σημαντικά, από τη εφαρμοζόμενη δόση ζιζανιοκτόνου. Σε σχέση με τη ρίζα των σποροφύτων, τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα εμφάνισαν οι ποικιλίες Neoplanta, Adonai και Celina καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (Πίνακας 3.16) (Γράφημα 3.8). Σε συμφωνία με τα ευρήματα που αφορούν στο δυναμικό βλάστησης παρουσία ζιζανιοκτόνου, η επίδραση στο μήκος της ρίζας των σποροφύτων, αν και παρουσίασε γονοτυπικές διαφορές, ακολούθησε ποιοτική και όχι ποσοτική τάση. Συνεπώς, η μείωση που σημειώθηκε στο μήκος ρίζας δεν υπήρξε ευθέως ανάλογη της εφαρμοζόμενης δόσης. Βάσει του γνωρίσματος αυτού, η σειρά κατάταξης των ποικιλιών ήταν η ακόλουθη: Adonai, Neoplanta, Celina, Zora, PR92M22, P21T45, PR92M35, PR92B63, PR91M10.

Πίνακας 3.16: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, και 11^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση Herbicide (mg/l) (C)					
		Control	0,1	1	10	100	
5							MEAN (G)
	PR92B63	0,01 d	0,00 d	0,00 d	0,00 c	0,00 d	0,00 d
	PR92M35	0,62 c	0,04 d	0,03 d	0,00 c	0,38 cd	0,21 d
	PR92M22	1,44 ab	0,50 cd	0,62 cd	0,62 b	0,74 bc	0,78 c
	PR91M10	0,00 d	0,00 d	0,00 d	0,00 c	0,00 d	0,00 d
	Zora	1,07 bc	0,94 bc	0,28 d	0,62 b	0,83 bc	0,76 c
	Neoplanta	1,63 ab	1,64 a	1,15 bc	1,35 a	1,78 a	1,51 ab
	P21T45	1,07 bc	0,25 d	0,33 d	0,62 b	0,87 bc	0,63 c
	Celina	1,18 bc	1,07 abc	1,52 ab	1,35 a	1,37 ab	1,30 b
	Adonai	1,93 a	1,25 ab	2,02 a	1,68 a	1,68 a	1,71 a
	SED	0,17	0,19	0,19	0,14	0,18	SED (G)= 0,08
	Mean (C)	0,99 a	0,63 c	0,66 c	0,69 c	0,85 b	SED (C)= 0,06
7							MEAN (G)
	PR92B63	0,00 g	0,00 f	0,00 e	0,00 d	0,00 e	0,00 g
	PR92M35	0,80 f	0,00 f	0,00 e	0,00 d	0,10 e	0,18 f
	PR92M22	1,67 d	1,00 e	0,80 d	0,82 c	0,15 e	0,89 e
	PR91M10	0,00 g	0,00 f	0,00 e	0,00 d	0,00 e	0,00 g
	Zora	1,10 e	1,30 d	1,23 c	1,28 b	1,17 d	1,21 c
	Neoplanta	2,73 a	3,70 a	1,30 c	1,31 b	3,26 b	2,46 a
	P21T45	2,26 b	0,14 f	0,00 e	1,27 b	1,25 d	0,98 d
	Celina	1,80 c	1,78 c	1,69 b	1,30 b	1,67 c	1,64 b
	Adonai	2,30 b	2,22 b	2,10 a	1,81 a	3,70 a	2,42 a
	SED	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05	SED (G)= 0,02
	Mean (C)	1,41 a	1,12 c	0,79 e	0,86 d	1,25 b	SED (C)= 0,02
9							MEAN (G)
	PR92B63	0,00 f	0,00 d	0,00 d	0,00 g	0,00 f	0,00 h
	PR92M35	1,29 e	0,00 d	0,00 d	0,00 g	0,00 f	0,26 g
	PR92M22	1,81 d	2,24 c	1,27 c	3,25 b	2,28 c	2,17 d
	PR91M10	0,00 f	0,00 d	0,00 d	0,00 g	0,00 f	0,00 h
	Zora	1,80 d	2,15 c	1,34 c	1,36 e	1,36 e	1,60 e
	Neoplanta	2,75 b	6,65 a	1,35 c	2,33 c	3,71 b	3,36 b
	P21T45	2,28 c	0,12 d	1,24 c	1,20 f	1,81 d	1,33 f
	Celina	2,33 c	2,22 c	2,10 b	1,82 d	3,68 b	2,43 c
	Adonai	6,20 a	4,18 b	4,21 a	4,25 a	5,25 a	4,82 a
	SED	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	SED (G)= 0,03
	Mean (C)	2,05 a	1,95 b	1,27 d	1,58 c	2,01 a	SED (C)= 0,02
11							MEAN (G)
	PR92B63	0,00 f	0,00 e	0,00 d	0,00 g	0,00 f	0,00 h
	PR92M35	1,75 e	0,00 e	0,00 d	0,00 g	0,00 f	0,35 g
	PR92M22	2,17 d	3,24 c	2,27 c	4,05 b	3,29 d	3,00 d
	PR91M10	0,00 f	0,00 e	0,00 d	0,00 g	0,00 f	0,00 h
	Zora	2,31 cd	2,90 c	2,20 c	2,20 e	2,58 e	2,44 e
	Neoplanta	3,15 b	6,84 a	2,20 c	3,20 d	4,72 b	4,02 b
	P21T45	2,44 c	1,10 d	2,24 c	0,92 f	2,93 de	1,93 f
	Celina	2,98 b	3,19 c	3,10 b	3,70 c	4,15 c	3,42 c
	Adonai	7,14 a	5,09 b	5,10 a	5,37 a	6,15 a	5,77 a
	SED	0,06	0,14	0,06	0,62	0,12	SED (G)= 0,04
	Mean (C)	2,44 b	2,48 b	1,9 d	2,16 c	2,65 a	SED (C)= 0,03



Γράφημα 3.8: Μήκος ρίζας των σποροφύτων ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση NaCl (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, και 11^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

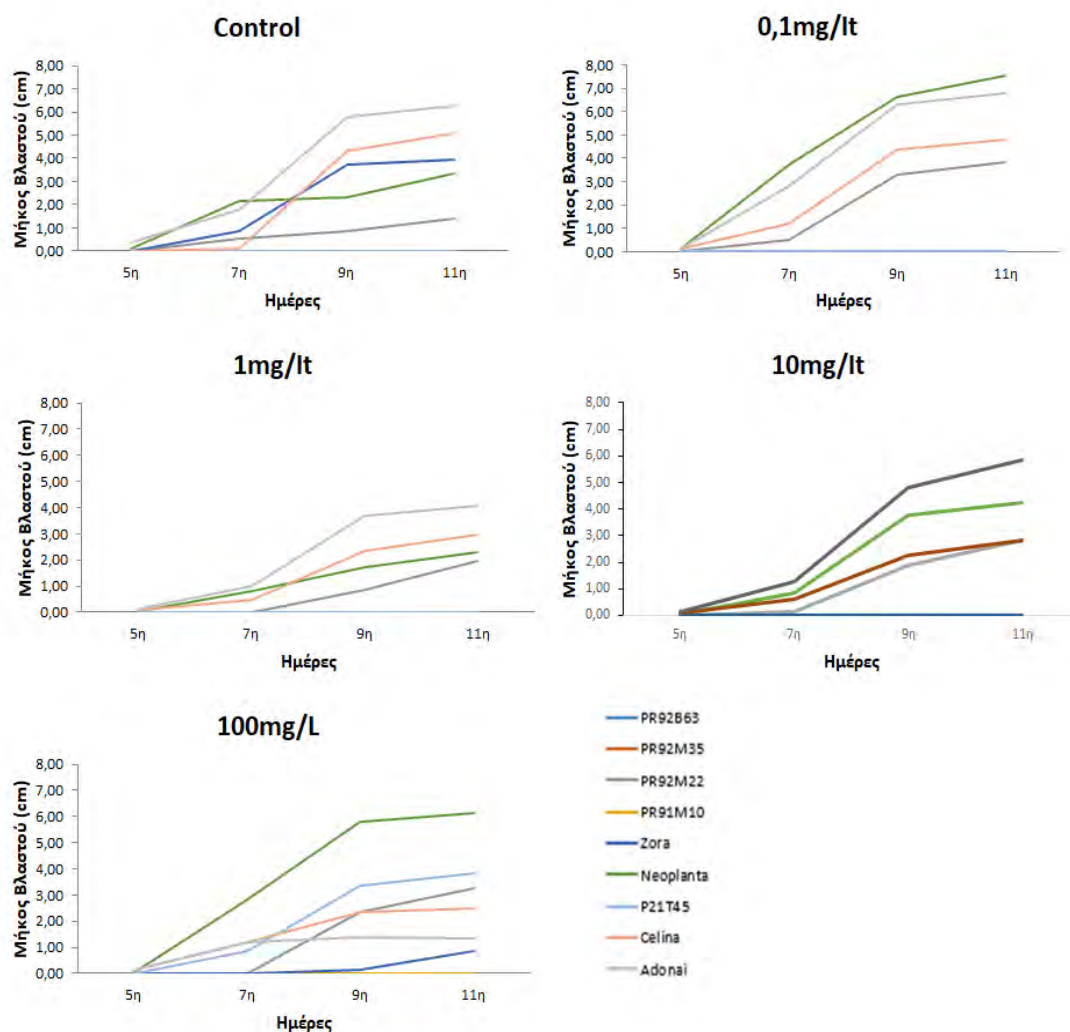
Ως προς το μήκος του βλαστού, η σειρά κατάταξης των ποικιλιών ήταν η ακόλουθη: Neoplanta, Adonai, Celina, PR92M22, Zora, P21T45, PR92M35, PR92B63, PR91M10.

Παρά το γεγονός ότι στις ποικιλίες Adonai και Celina η μείωση του μήκους βλαστού, συγκριτικά με τους μάρτυρες, υπήρξε ανάλογη της εφαρμοζόμενης δόσης ζιζανιοκτόνου, για τις υπόλοιπες ποικιλίες δεν κατέστη εφικτή η συσχέτιση του γνωρίσματος με το επίπεδο καταπόνησης (Πίνακας 3.17) (Γράφημα 3.9).

Πίνακας 3.17: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, και 11^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση Herbicide (mg/lit) (C)					
		Control	0,1	1	10	100	
5							MEAN (G)
	PR92B63	0,00 b	0,00 b	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	PR92M35	0,00 b	0,00 b	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	PR92M22	0,00 b	0,01 b	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	PR91M10	0,00 b	0,00 b	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	Zora	0,00 b	0,00 b	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	Neoplanta	0,10 b	0,11 a	0,07 b	0,07 b	0,07 b	0,08 b
	P21T45	0,00 b	0,00 b	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	Celina	0,00 b	0,13 a	0,09 ab	0,09 b	0,15 a	0,09 b
	Adonai	0,38 a	0,12 a	0,15 a	0,14 a	0,15 a	0,19 a
	SED	0,07	0,01	0,02	0,01	0,01	SED (G)= 0,02
	Mean (C)	0,05 a	0,04 a	0,03 a	0,03 a	0,04 a	SED (C)= 0,01
7							MEAN (G)
	PR92B63	0,00 c	0,00 e	0,00 b	0,00 c	0,00 d	0,00 e
	PR92M35	0,00 c	0,00 e	0,00 b	0,00 c	0,00 d	0,00 e
	PR92M22	0,54 bc	0,50 d	0,00 b	0,15 c	0,00 d	0,24 d
	PR91M10	0,00 c	0,00 e	0,00 b	0,00 c	0,00 d	0,00 e
	Zora	0,87 b	0,00 e	0,00 b	0,01 c	0,00 d	0,18 de
	Neoplanta	2,17 a	3,74 a	0,82 a	0,83 b	2,83 a	2,07 a
	P21T45	0,00 bc	0,00 e	0,00 b	0,00 c	0,85 c	0,28 d
	Celina	0,12 bc	1,20 c	0,50 ab	0,62 b	1,20 b	0,72 c
	Adonai	1,79 a	2,83 b	0,99 a	1,28 a	1,20 b	1,61 b
	SED	0,24	0,03	0,17	0,08	0,001	SED (G)= 0,06
	Mean (C)	0,67 b	0,92 a	0,26 c	0,32 c	0,67 b	SED (C)= 0,05
9							MEAN (G)
	PR92B63	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 e	0,00 f	0,00 g
	PR92M35	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 e	0,00 f	0,00 g
	PR92M22	0,85 e	3,30 d	0,85 d	1,86 d	2,36 c	1,84 d
	PR91M10	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 e	0,00 f	0,00 g
	Zora	3,72 c	0,00 e	0,00 e	0,00 e	0,15 e	0,77 e
	Neoplanta	2,31 d	6,63 a	1,73 c	3,76 b	5,79 a	4,04 b
	P21T45	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 e	3,34 b	0,69 f
	Celina	4,35 b	4,36 c	2,32 b	2,25 c	2,34 c	3,12 c
	Adonai	5,80 a	6,29 b	3,68 a	4,80 a	1,37 d	4,38 a
	SED	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	SED (G)= 0,01
	Mean (C)	1,89 b	2,28 a	0,95 e	1,4 d	1,7 c	SED (C)= 0,01

11							MEAN (G)
PR92B63	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 d	0,00 g	0,00 f	
PR92M35	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 d	0,00 g	0,00 f	
PR92M22	1,39 e	3,85 d	1,97 d	2,81 c	3,24 c	2,65 c	
PR91M10	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 d	0,00 g	0,00 f	
Zora	3,97 c	0,00 e	0,00 e	0,00 d	0,84 f	0,96 d	
Neoplanta	3,37 d	7,55 a	2,32 c	4,23 b	6,15 a	4,72 a	
P21T45	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 d	3,83 b	0,76 e	
Celina	5,08 b	4,83 c	2,95 b	2,82 c	2,49 d	3,63 b	
Adonai	6,27 a	6,79 b	4,05 a	5,84 a	1,33 e	4,85 a	
SED	0,10	0,11	0,10	0,13	0,06	SED (G)= 0,05	
Mean (C)	2,23 b	2,56 a	1,25 e	1.74 d	1.99 c	SED (C)= 0,03	



Γράφημα 3.9: Μήκος βλαστού των σποροφύτων ανά ποικιλία (G και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/Lt (C)) την 5^η, 7^η, 9^η, και 11^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Αναφορικά με το δείκτη ευρωστίας, την καλύτερη επίδοση εμφάνισαν οι ποικιλίες Adonai και Neoplanta, ακολουθούμενες από την ποικιλία Celina (Πίνακας 3.18). Παρά το γεγονός ότι η επίδοση των ποικιλιών δεν εμφάνισε ικανοποιητική συσχέτιση με την εφαρμοζόμενη δόση ζιζανιοκτόνου, οι ποικιλίες Adonai και Neoplanta παρουσίασαν υψηλό δείκτη ευρωστίας ακόμη και στις υψηλές συγκεντρώσεις. Αντιθέτως, όπως αναμενόταν, η αδυναμία σχηματισμού βλαστού των ποικιλιών P21T45, PR92M35, PR92B63, PR91M10 τις κατέταξε ως αυτές με τη χειρότερη επίδοση για το γνώρισμα αυτό.

Πίνακας 3.18: Δείκτης Ευρωστίας (SVI) ανά ποικιλία (G) και επίπεδο στρες (συγκέντρωση mg/lit (C)) την 7^η ημέρα της καταπόνησης ζιζανιοκτόνου.

Ημέρα	Ποικιλία	Συγκέντρωση Herbicide (mg/lit) (C)				
		Control	0,1	1	10	100
7						MEAN (G)
	PR92B63	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 d
	PR92M35	1,11 c	0,48 c	0,53 c	0,00 c	1,00 d
	PR92M22	190,17 b	47,21 bc	27,59 c	32,50 c	6,33 cd
	PR91M10	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 d
	Zora	122,33 b	55,76 bc	88,68 b	44,91 c	37,78 cd
	Neoplanta	430,92 a	443,31 a	121,97 b	128,14 b	331,59 a
	P21T45	165,42 b	2,50 c	0,00 c	26,00 c	54,06 c
	Celina	121,50 b	158,67 b	95,31 b	107,11 b	153,33 b
	Adonai	378,20 a	361,61 a	215,55 a	244,24 a	358,91 a
	SED	27,58	34,02	14,28	14,15	15,1
	Mean (C)	156,62 a	118,83 b	61,07 c	64,76 c	104,17 b
						SED (G)=
						SED (C)=

4. Συζήτηση

Οι αβιοτικές καταπονήσεις συνιστούν τους πλέον σοβαρούς περιοριστικούς παράγοντες στην ανάπτυξη και παραγωγικότητα των καλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο, προκαλώντας απώλειες απόδοσης που συχνά ξεπερνούν το 50 % του δυναμικού παραγωγικότητας (Bray et al., 2000). Στους περιβαλλοντικούς παράγοντες καταπόνησης συγκαταλέγονται οι ακραίες θερμοκρασίες (υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία), η περίσσεια ή έλλειψη νερού, η περίσσεια ή ανεπάρκεια αλάτων και ιόντων, η αυξημένη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, αέριων ρύπων και βιοκτόνων ή άλλων ξενοβιοτικών ουσιών, η συσσώρευση ενεργών μορφών οξυγόνου (οξειδωτικές), η επίδραση ανέμου, βαρύτητας, ήχου, μαγνητικών πεδίων, συμπίεσης (μηχανικές) καθώς και η έκθεση σε υπέρυθρη, ορατή, υπεριώδη και ιοντίζουσα ακτινοβολία.

Οι σημαντικότερες ωστόσο αβιοτικές καταπονήσεις, βάσει των αλλαγών που λαμβάνουν χώρα σε μοριακό, βιοχημικό, φυσιολογικό και μορφολογικό επίπεδο, είναι η οξειδωτική καταπόνηση, η ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας, η υψηλή αλατότητα και υψηλή θερμοκρασία, ο παγετός, η περίσσεια νερού που δύναται να προκαλέσει ανοξία ή υποξία και η παρουσία βαρέων μετάλλων. Σε απόκριση στις συνθήκες ισχυρής επιλεκτικής πίεσης, λόγω των ανωτέρω περιβαλλοντικών καταπονήσεων, τα φυτά υπόκεινται σε μεταβολές οι οποίες συντείνουν προς την εξασφάλιση της προσαρμοστικότητας και επιβιώσής τους υπό δυσμενείς συνθήκες. Οι μηχανισμοί άμυνας και προσαρμογής περιλαμβάνουν αρχικά την αντίληψη του ερεθίσματος περιβαλλοντικής καταπόνησης και έπειτα την μεταγωγή του σήματος και την ενεργοποίηση του διαθέσιμου οπλοστασίου άμυνας. Οι μεταβολές που συντελούνται στο επίπεδο αυτό ενδέχεται να είναι παροδικές ή μόνιμες και συνεπώς κληρονομήσιμες στις επόμενες γενεές.

Η σόγια συγκαταλέγεται στις πλέον απαιτητικές σε εισροές καλλιέργειες ενώ παράλληλα, η επίτευξη του παραγωγικού δυναμικού της προϋποθέτει την επικράτηση άριστων εδαφοκλιματικών συνθηκών. Η έλλειψη επαρκούς εδαφικής υγρασίας και η υψηλή αλατότητα συνιστούν τις σημαντικότερες αβιοτικές καταπονήσεις οι οποίες επηρεάζουν δυσμενώς την καλλιέργεια, διαταράσσοντας κυρίως την ιοντική και οσμωτική ισορροπία των κυττάρων (Mahajan & Narendra, 2005). Η επίδραση της

καταπόνησης τόσο στην ανάπτυξη όσο και στην παραγωγικότητα της σόγιας μεγιστοποιείται όταν η καταπόνηση λαμβάνει χώρα κατά την κρίσιμη περίοδο της άνθισης. Υπό συνθήκες καταπόνησης, σημειώνεται δραστικότητα μείωση της απόδοσης, που μπορεί να φθάσει και το 40% του παραγωγικού δυναμικού, καθώς και ποιοτική υποβάθμιση του σπόρου. Δεδομένης της τάσης μείωσης των απαιτούμενων εισροών στις καλλιέργειες, στο πλαίσιο της αειφορικής γεωργίας, καθίσταται αναγκαία η δημιουργία σύγχρονων ποικιλιών με γενετική ανθεκτικότητα στις αβιοτικές καταπονήσεις. Ενόψει μάλιστα της ραγδαίας μείωσης των διαθέσιμων πόρων αλλά και της προοδευτικής υποβάθμισης των εδαφών σε παγκόσμιο επίπεδο, η οικονομική βιωσιμότητα της καλλιέργειας θα βασίζεται ολοένα και περισσότερο στη διαθεσιμότητα ποικιλιών με αναβαθμισμένη ανθεκτικότητα και σταθερότητα της απόδοσης υπό συνθήκες ξηρασίας και υψηλής αλατότητας.

Παρά την επιτευχθείσα πρόοδο, μέσω διαδικασιών κλασικής βελτίωσης, οι αβιοτικές καταπονήσεις εξακολουθούν να αποτελούν τον πλέον σημαντικό περιοριστικό παράγοντα των καλλιεργειών, συμπεριλαμβανομένου της σόγιας, παγκοσμίως. Ωστόσο, η βελτίωση του γνωρίσματος της ανθεκτικότητας εξακολουθεί να είναι μια ιδιαίτερα δύσκολη, χρονοβόρα και με περιορισμένα αποτελέσματα προσπάθεια, η οποία αδιαμφισβήτητα εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα κατάλληλων μεθόδων επιλογής των ανθεκτικών γονοτύπων. Παραδοσιακά, η επιλογή γίνεται σε πειράματα αγρού κατά το κρίσιμο για την καταπόνηση στάδιο. Ωστόσο, η διαδικασία αυτή ενέχει σημαντικές δυσκολίες που έγκεινται α) στη σημαντική αλληλεπίδραση γονοτύπου –περιβάλλοντος, β) στη δυσκολία επίτευξης ομοιόμορφων συνθηκών καταπόνησης σε πειράματα αγρού, γ) στο μεγάλο αριθμό γονοτύπων που απαιτείται για την αξιολόγηση και επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων, δ) στη συνύπαρξη της υπό μελέτη καταπόνησης με άλλους παράγοντες βιοτικής ή/και αβιοτικής καταπόνησης, ε) στην ανεπαρκή κατανόηση των φυσιολογικών μηχανισμών που διέπουν το γνώρισμα της ανθεκτικότητας σε αβιοτικές καταπονήσεις καθώς και στην πολυπλοκότητα του γενετικού υπόβαθρου τους (πολυγονιδιακή κληρονομηση) και στ) στην έλλειψη κατάλληλων μεθόδων επιλογής ανθεκτικού γενετικού υλικού. Βάσει των ανωτέρω, είναι προφανής η αναγκαιότητα εύρεσης εναλλακτικών μεθόδων για την αξιόπιστη επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων. Προς την κατεύθυνση αυτή, παράλληλο στόχο αποτελεί η δυνατότητα ευχερούς επιλογής σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια του φυτού, καθώς η προσέγγιση αυτή αναμένεται να επιφέρει σημαντική

επιτάχυνση των σχετικών βελτιωτικών προγραμμάτων που στοχεύουν στη βελτίωση του γνωρίσματος της ανθεκτικότητας σε αβιοτικές καταπονήσεις.

Με δεδομένο ότι η βλάστηση των σπόρων αποτελεί το πρώτο κρίσιμο στάδιο του βιολογικού κύκλου των φυτών (Ashraf & Mehmood, 1990) και η έκθεση σε παράγοντες καταπόνησης κατά το στάδιο αυτό συχνά οδηγεί σε ανεπιτυχή εγκατάσταση της καλλιέργειας και μείωση της παραγωγής (Albuquerque & Carvalho, 2003), η επιλογή για ανθεκτικότητα στη φάση της βλάστησης έχει προταθεί ως εναλλακτική προσέγγιση για την εκτίμηση της απόδοσης (Kroghomou et al. 1990; Grzesiak et al. 1996). Η αξιοποίηση του δυναμικού βλάστησης των σπόρων υπό συνθήκες καταπόνησης μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο κριτήριο για την επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων σε πρώιμα αναπτυξιακά στάδια, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα σημαντικής επιτάχυνσης των βελτιωτικών διαδικασιών που στοχεύουν στη βελτίωση του γνωρίσματος της ανθεκτικότητας στις αβιοτικές καταπονήσεις.

Στο πλαίσιο αυτό, στόχο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η αξιολόγηση του δυναμικού βλάστησης εμπορικών ποικιλιών σόγιας των οποίων η ανθεκτικότητα και προσαρμοστικότητα σε αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης δεν έχει αποσαφηνιστεί. Προς την κατεύθυνση αυτή, αξιολογήθηκε το δυναμικό βλάστησης εννέα ποικιλιών σόγιας υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας, υψηλής αλατότητας και παρουσίας ζιζανιοκτόνου. Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την απόκριση των ποικιλιών αναφορικά με την ένταση και τη διάρκεια της εφαρμοζόμενης καταπόνησης, στα πειράματα περιλήφθηκαν διαφορετικά επίπεδα στρες, ενώ η αξιολόγηση της ανθεκτικότητας βασίστηκε σε μετρήσεις γνωρισμάτων που λαμβάνονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

4.1 Υδατική καταπόνηση

Με δεδομένο ότι το ποσοστό βλάστησης θεωρείται ότι αποτελεί αξιόπιστο κριτήριο καθώς παρέχει ενδείξεις για την επιτυχή εγκατάσταση των σποροφύτων καθώς και για το δυναμικό ανάπτυξης και απόδοσης υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας (Grzesiak et al., 1996), στόχο της παρούσας ενότητας αποτέλεσε η αξιολόγηση του δυναμικού βλάστησης και ανάπτυξης εννέα ποικιλιών σόγιας υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Η επίτευξη χαμηλού οσμωτικού δυναμικού για την υδατική καταπόνηση επετεύχθη με την αξιοποίηση πολυαιθυλενικής γλυκόλης (0%, 5%, 10% και 20% PEG-6000).

Τα ευρήματα της μελέτης καταδεικνύουν την αρνητική επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη βλάστηση των σπόρων και την ανάπτυξη των νεαρών σποροφύτων, με την επίδραση να είναι ανάλογη του επιπέδου του εφαρμοζόμενου στρες. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες, ενώ παράλληλα επιβεβαιώνουν την καταλληλότητα του μακρομορίου PEG ως μέσο προσομοίωσης της ξηρασίας υπό εργαστηριακές συνθήκες (Kaya et al., 2006; Sadeghi et al., 2011; Muscolo et al., 2013; Idrissi et al., 2015).

Παρά το γεγονός ότι το στρες επέδρασε αρνητικά στο σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών, το δυναμικό βλάστησης επηρεάστηκε σημαντικά από την καταπόνηση, την ποικιλία καθώς και την αλληλεπίδραση αυτών, γεγονός που συνάδει με προηγούμενες έρευνες που υπογραμμίζουν ότι η επίδραση της καταπόνησης παρουσιάζει έντονη γονοτυπική εξάρτηση, τόσο σε επίπεδο είδους όσο και σε επίπεδο γονοτύπου (Lutts et al., 1995; Ungar 1996; Almansouri et al., 2001). Η αξιολόγηση των ποικιλιών ως προς το δυναμικό βλάστησης, κατέταξε τις ποικιλίες PR92M22, Neoplanta και Adonai ως τις περισσότερο ανθεκτικές στην υδατική καταπόνηση, με την ποικιλία Neoplanta να εμφανίζει την καλύτερη επίδοση κατά το υψηλό επίπεδο καταπόνησης, υπογραμμίζοντας την ικανότητά της να διατηρήσει ικανοποιητικό ποσοστό βλάστησης υπό συνθήκες ακραίας εδαφικής ανεπάρκειας. Βάσει των ανωτέρω, είναι προφανές ότι η καταλληλότητα μιας ποικιλίας διαμορφώνεται συναρτήσει τους είδους της καταπόνησης αλλά και της έντασης και διάρκειάς της.

Το ποσοστό απορρόφησης του νερού αποτελεί ένα γνώρισμα το οποίο σχετίζεται άμεσα με τη βλαστικότητα διότι επιδρά άμεσα στην ενεργοποίηση των ενζύμων που προκαλούν υδρόλυση του αμύλου σε σάκχαρα προσφέροντας πηγή ενέργειας,

αύξηση του ριζιδίου και επιμήκυνση των ιστών (Bewley 1997; Bewley et al. 2013). Το ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU%) καθώς και η περιεκτικότητα των σποροφύτων σε υγρασία (WC %) εμφάνισαν μειωτική τάση που στο πλείστο των περιπτώσεων ήταν αντιστρόφως ανάλογη με το επίπεδο του εφαρμοζόμενου στρες. Παρά τις διαφορές που σημειώθηκαν, τα γνωρίσματα αυτά δεν καθιστούν εφικτή την κατάταξη των ποικιλιών με βάση την ανθεκτικότητά τους και συνεπώς δεν συνιστούν αξιόπιστα κριτήρια για την επιλογή ανθεκτικών γονοτύπων.

Μετά το στάδιο της βλάστησης όπου πραγματοποιείται η εμφάνιση του ριζιδίου, η αύξηση και ανάπτυξη της ρίζας και του βλαστού θεωρούνται σημαντικά γνωρίσματα για την εκτίμηση της ανθεκτικότητας στη ξηρασία (Idrissi et al. 2015). Στο πλαίσιο αυτό, σημαντική ήταν η επίδραση του στρες στα χαρακτηριστικά ανάπτυξης για το σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών, με τα αυξανόμενα επίπεδα στρες να οδηγούν σε προοδευτική αναστολή της ανάπτυξης των σποροφύτων, εκφρασμένη ως μείωση του μήκους ρίζας και βλαστού. Όπως αναμενόταν, η μεγιστοποίηση της μείωσης σημειώθηκε στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν τις ποικιλίες PR92M22, Adonai και Neoplanta ακολουθούμενες από τη Celina ως τις περισσότερο ανθεκτικές.

Στο σύνολό τους, τα αποτελέσματα συνηγορούν στην υπεροχή των ποικιλιών Adonai και Neoplanta, και ακολούθως PR92M22, αναφορικά με το δυναμικό βλάστησης και ανάπτυξής τους υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Η παρατηρηθείσα υπεροχή εκφράστηκε με υψηλότερο ποσοστό και ρυθμό βλάστησης καθώς και ικανοποιητική ανάπτυξη των σποροφύτων. Είναι αξιοσημείωτο, ότι η ποικιλία Neoplanta εμφάνισε την καλύτερη επίδοση στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (20% PEG), γεγονός που παρέχει σημαντικές ενδείξεις για τη δυνατότητα αξιοποίησής της για καλλιέργεια σε συνθήκες σοβαρής ανεπάρκειας εδαφικής υγρασίας.

4.2 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Η αλατότητα είναι μία από τις πλέον επιζήμιες αβιοτικές καταπονήσεις, με επιπτώσεις σε όλα σχεδόν τα στάδια ανάπτυξης κατά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου ζωής των φυτών, συμπεριλαμβανομένης της βλάστησης των σπόρων, στην απόδοση αλλά και στην επιβίωση πολλών καλλιεργούμενων ειδών (Zhu, 2016). Η σόγια ταξινομείται ως μια μέτρια καλλιεργεία ανεκτική στην αλατότητα και η τελική απόδοσή της μειώνεται όταν τα επίπεδα αλατότητας του εδάφους υπερβαίνουν τα 5 dS m⁻¹ (Ashraf, 1994).

Δεδομένου ότι προηγούμενες έρευνες έχουν καταδείξει το γεγονός ότι η αντοχή στην αλατότητα κατά το στάδιο της βλάστησης είναι κληρονομικό γνώρισμα του φυτού (Ashraf et al., 1987), στόχο της παρούσας ενότητας αποτέλεσε η αξιολόγηση του δυναμικού βλάστησης και ανάπτυξης εννέα ποικιλιών σόγιας υπό συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας, επαγόμενης με NaCl (0, 50, 100 και 200 mM NaCl).

Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την υψηλή συσχέτιση του ποσοστού βλάστησης με το επίπεδο του εφαρμοζόμενου επιπέδου καταπόνησης, με αποτέλεσμα η επίδραση του στρες να μεγιστοποιείται στο υψηλό επίπεδο αλατότητας (200 mM NaCl). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες όπου αναφέρεται ότι η αλατότητα επηρεάζει το δυναμικό βλάστησης, δρώντας είτε ως αναστολέας της βλάστησης σε υψηλά επίπεδα στρες είτε ως παρεμποδιστής σε επίπεδα στρες που δεν είναι πλήρως αποτρεπτικά για βλάστηση (Gulzar & Khan 2001; Buchade & Karadage 2014; Oujj et al. 2015). Οι ποικιλίες Neoplanta και Adonai εμφάνισαν σαφή υπεροχή αναφορικά με το ποσοστό βλάστησης στα εφαρμοζόμενα επίπεδα καταπόνησης, ενώ η ποικιλία Neoplanta αναδείχθηκε ως η πλέον ανθεκτική καθώς διατήρησε ικανοποιητικό ποσοστό βλάστησης ακόμη και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM: 45 %).

Όσον αφορά τα γνωρίσματα WU και WC, που σχετίζονται άμεσα με το ρυθμό βλάστησης, δεν παρείχαν τη δυνατότητα κατάταξης των ποικιλιών με βάση την ανθεκτικότητά τους και συνεπώς δεν μπορούν να αποτελέσουν κριτήρια για την επιλογή των περισσότερο ανθεκτικών γονοτύπων.

Αναφορικά με τα γνωρίσματα που σχετίζονται με την ανάπτυξη των νεαρών σποροφύτων, η στατιστική ανάλυση κατέδειξε σημαντικές διαφορές για το σύνολο των εξεταζόμενων ποικιλιών. Η αύξηση του επιπέδου του στρες οδήγησε σε προοδευτική αναστολή της ανάπτυξης του σπορόφυτου η οποία εκφράστηκε μέσω της μείωσης του μήκους ρίζας και βλαστού, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγιστοποίηση της αναστολής ανάπτυξης στο υψηλό επίπεδο στρες (200 mM NaCl). Ως προς την ανάπτυξη, την υψηλότερη επίδοση παρουσίασαν οι ποικιλίες PR92M22, Celina, Neoplanta και Adonai.

4.3 Καταπόνηση παρουσία ζιζανιοκτόνου

Στόχο της παρούσας ενότητας αποτέλεσε η αξιολόγηση του δυναμικού βλάστησης και ανάπτυξης των ποικιλιών παρουσία του ζιζανιοκτόνου Sencor 70W που περιέχει τη δραστική ουσία metribuzin σε συγκέντρωση 70 %. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν την ύπαρξη γενετικής παραλλακτικότητας αναφορικά με την αντοχή στα εφαρμοζόμενα επίπεδα καταπόνησης από ζιζανιοκτόνο.

Παρουσία ζιζανιοκτόνου, η κατάταξη των ποικιλιών αναφορικά με το ποσοστό βλάστησης ήταν η ακόλουθη: Adonai, Neoplanta, Celina, PR92M22, Zora, P21T45, PR92M35, PR91M10 και PR92B63. Οι ποικιλίες Adonai και Neoplanta εμφάνισαν τη μεγαλύτερη αντίσταση στην καταπόνηση τόσο στα χαμηλά (0,1 και 1 mg/l) όσο και στα υψηλότερα επίπεδα καταπόνησης (10 και 100 mg/l), υποδεικνύοντας τη δυνατότητά τους να διατηρήσουν ικανοποιητικό δυναμικό βλάστησης υπό συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης ζιζανιοκτόνου. Αντίθετα, η μείωση του δυναμικού βλάστησης στις ποικιλίες Zora, P21T45 και PR92M35 πιθανώς οφείλεται σε λιγότερο αποτελεσματική διαμερισματοποίηση των συμπλόκων ζιζανιοκτόνου-γλουταθειόνης (Schroeder, 2001).

Παρά τις διαφορές σε επίπεδο γονοτύπου, η μείωση του δυναμικού βλάστησης παρουσία ζιζανιοκτόνου ακολούθησε ποιοτική και όχι ποσοτική τάση. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες ποικιλίες παρουσίασαν μερική πτώση του δυναμικού βλάστησης ακόμη και στη χαμηλή δόση ζιζανιοκτόνου, η οποία όμως δεν ήταν ευθέως ανάλογη με την εφαρμοζόμενη δόση.

Όσον αφορά τα γνωρίσματα WU και WC, που σχετίζονται άμεσα με το ρυθμό βλάστησης, δεν παρείχαν τη δυνατότητα κατάταξης των ποικιλιών με βάση την ανθεκτικότητά τους και συνεπώς δεν μπορούν να αποτελέσουν κριτήρια για την επιλογή των περισσότερο ανθεκτικών γονοτύπων.

Επιπρόσθετα, το εφαρμοζόμενο επίπεδο ζιζανιοκτονίας επηρέασαν το δυναμικό ανάπτυξης των σποροφύτων. Σε συμφωνία με τις παρατηρήσεις που αφορούν το δυναμικό βλάστησης, η επίδραση του ζιζανιοκτόνου στο δυναμικό ανάπτυξης των σποροφύτων δεν υπήρξε ευθέως ανάλογη της εφαρμοζόμενης δόσης. Αναφορικά με την επίδραση του ζιζανιοκτόνου στο μήκος ρίζας και βλαστού, τη μεγαλύτερη αντοχή εμφάνισαν οι ποικιλίες Neoplanta, Adonai και Celina καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Συμπερασματικά, τα συνολικά αποτελέσματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν την υπεροχή των ποικιλιών Neoplanta, Adonai, ακολουθούμενων από τις ποικιλίες Celina και PR92M22. Αναφορικά με τα γνωρίσματα που αποτέλεσαν τη βάση αξιολόγησης της ανθεκτικότητας των ποικιλιών, το ποσοστό βλάστησης καθώς και το μήκος ρίζας και βλαστού αναδείχθηκαν ως καταλληλότερα για την ευχερή κατάταξη των ποικιλιών. Αντίθετα, το ποσοστό απορρόφησης νερού των σπόρων (WU), το ποσοστό περιεχομένης υγρασίας των σποροφύτων (WC) καθώς και ο δείκτης ευρωστίας (SVI) εκτιμάται ότι αποτελούν αξιόπιστα κριτήρια για την επιλογή των περισσότερο ανθεκτικών γονοτύπων.

Είναι αξιοσημείωτο ωστόσο ότι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων θα πρέπει να επιβεβαιωθεί μέσω της αξιολόγησης της ανθεκτικότητας των υπό μελέτη ποικιλιών σε πειράματα αγρού όπου η καταπόνηση θα λάβει χώρα κατά το κρίσιμο στάδιο της άνθισης. Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων των πρώιμων επιλογών με την εκατοστιαία απώλεια απόδοσης υπό συνθήκες καταπόνησης θα οδηγήσει στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων αναφορικά με τη δυνατότητα αξιοποίησης του δυναμικού βλάστησης και ανάπτυξης των σποροφύτων για πρώιμη αξιόπιστη επιλογή ανθεκτικού γενετικού υλικού. Η προσέγγιση αυτή αναμένεται να συμβάλει στην ουσιαστική αναβάθμιση της αποτελεσματικότητας των προγραμμάτων που στοχεύουν στη βελτίωση του γνωρίσματος της ανθεκτικότητας της σόγιας έναντι αβιοτικών καταπονήσεων.

5. Βιβλιογραφία

Abdual-baki, A.A., and Anderson, D. J. 1973. Relationship between decarboxilation of glutamic acid and vigour in soybean seed, *Crop Sci.*, 13, pp 222-226.

Acquaah, G. 2007. *Principles of Plant Genetics and Breeding*. Blackwell Publishing, pp 519-528.

Albuquerque, de F.M.C. and Carvalho, de N.M.. 2003. Effect of type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annuus* L.), soyabean (*Glycine max* (L.) Merrill) and maize (*Zea mays* L.) seeds with different levels of vigor. *Seed Sci. Technol.*, 31: 465-467.

Almansouri, M., Kinet, J.M., Lutts, S. 2001. Effect of salt osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*, 231, pp 243-254.

Ashraf M., McNeilly T., Bradshaw A.D. 1987. Selection and heritability of tolerance to sodium chloride in four forage species. *Crop Science*, 227, 232–234.

Ashraf, M., and Mehmood, S. 1990. Response of four Brassica species to drought stress. *Environ. Expt. Bot.*, 30, pp 93-100.

Ashraf, M. 1994. Genetic variation for salinity tolerance in spring wheat. Department of Plant Sciences, University of Arizona, Tucson, AZ 85721, USA. 120, pp 99-104.

Ashraf, M., and Harris, P.J.C. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci*, 166, pp 3- 16.

Bernard, R.L., and Weiss, M.G. 1973. Qualitative Genetics. Soybeans, Production and Uses. In: B.E. Caldwell (Ed.), *Agronomy Series*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp 117-154.

Bewley, J.D., and Black, M. 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Vol 2, Springer, Berlin, Germany, pp 1399–1401.

- Bewley, J.D. 1997. Seed Germination and Dormancy. *Plant Cell*, 9, pp 1055-1066.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., Nonogaki, H. 2013. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. New York, NY: Springer; 10.1007/978-1-4614-4693-4.
- Birt, D.F., Hendrick, S., Alekel, D.L. 2004. Soybean and the prevention of chronic human disease. In: Boerma, H.R. and Specht, J.E. (Ed.) *Soybeans: Improvement, Production and Uses*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp 1047-1117.
- Black, M., and Pritchard, W. H. 2002. *Desiccation and survival in plants drying without dying*. New York: CABI publishing.
- Board, J.E., and Tan, Q. 1995. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod formation. *Crop Science*, 35, pp 846–851.
- Bolarín, M.C., Santa-Cruz, A., Cayuela, E., Pérez-Alfocea, F. 1995. Short-term solute changes in leaves and roots of cultivated and wild tomato seedlings under salinity. *J. Plant Physiol*, 147, pp 463-468.
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J., Weretilnyk, E. 2000. Responses to abiotic stresses, in: W. Gruissem, B. Buchannan, R. Jones (Eds.), *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, American Society of Plant Biologists, Rockville, MD, pp. 158–1249.
- Buchade, J.Y., and Karadge B.A. 2014. Effect of NaCl on seed germination in five legume crops. *Journal of Advanced Scientific Research*, 5(2), pp 56-58.
- Carlson J.B., Lersten N.R. 1987. Reproductive Morphology. In: J.R. Wilcox (Ed.) *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. *Agronomy*, 16, pp 95-134.
- Carillo, P., Mastrolonardo, G., Nacca, F., Fuggi, A. 2005. Nitrate reductase in durum wheat seedlings as affected by nitrate nutrition and salinity. *Funct. Plant Biol.*, 32, pp 209-219.
- Carpenter, J., and Gianessi, L. 1999. Herbicide tolerant soybeans: Why growers are adopting Roundup Ready varieties. *AgBioForum*, 2, (2), pp 65-72.

Cramer, G.R., Lynch, J., Lauchli, A., Epstein E. 1987. Influx of Na⁺, K⁺, and Ca²⁺ into roots of salt-stressed cotton seedlings. *Plant Physiol.*, 83, pp 510–516.

Cheftel, J.C., Cuq, J.L., Lorient, D. 1985. “Proteines Alimentaires”. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, pp309.

Chung, Gyuhwa, and Singh, J. Ram. 2008. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. Volume 27, <https://doi.org/10.1080/07352680802333904>

Delauney, A.J., and Verma, D.P.S. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.*, 4, pp 215–223.

Devine, M.D. 2005. Why are there not more herbicide-tolerant crops? *Pest Management Science*, 61 (3), pp 312-317.

Dixit, Ajay K., Antony, J. I. X., Navin, K. Sharma, Rakesh, K. Tiwari. 2011. Soybean constituents and their functional benefits. Opportunity, Challenge and Scope of Natural Products in Medicinal Chemistry. pp 367-383, ISBN: 978-81-308-0448-4.

Dutilleul, C., Garmier, M., Noctor, G., Mathieu, C., Chétrit, P., Foyer, CH., et al. 2003. Leaf mitochondria modulate whole cell redox homeostasis, set antioxidant capacity, and determine stress resistance through altered signaling and diurnal regulation. *Plant Cell*, 15, pp 1212- 1226.

Egli, D.B., and Leggett J.E. 1973. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. *Crop Science*, 13, pp 220-222.

Egli, D.B., and Crafts-Brandner, S.J. 1996. Soybean. In: E. Zamski and A.A. Schaffer (Eds.) *Photoassimilate distribution in plant and crops: Source-sink relationship*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp 595-623.

FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils. [accessed in 2008 Dec. 22]. Available from: <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/intro.htm>.

Fehr, W.R., Caviness, C.E., Burmood, D.T., Pennington, J.S. 1971. Stage development description for soybean *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Science, 11, pp 929-931.

Fehr, W.R., and Caviness, C.E. 1977. Stages of soybean development. Iowa State Univ. Agric. Exp. Stn. Spec. Rep, pp 80.

Fehr, W.R. 1989. Soybean. In Robbelen G., Downey R.K., Ashri A. (Eds.) Oil crops of the world. McGraw-Hill Publishing Co. New York, NY, USA, pp 283-300.

Flowers, T.J., Troke, P.F., Yeo, A.R. 1977. The mechanisms of salt tolerance in halophytes. Annu., Rev., Plant Physiol, 28, pp 89–121.

Foyer, C.H., and Noctor G. 2005a. Oxidant and antioxidant signaling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. Plant Cell. Environ, 28, pp 1056-1071.

Foyer, C.H., and Noctor G. 2005b. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. Plant Cell, 17, pp 1866-1875.

Galvan-Ampudia, CS., Testerink, C. 2011. Salt stress signals shape the plant root. Curr. Opin. Plant Biol., 14, pp 296-302.

Gratão, P.L., Polle, A., Lea, P.J., Azevedo, R.A. 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. Funct. Plant Biol., 32, pp 481-494.

Greenway, H. and Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. Annu. Rev. Plant Physiol. ,31, pp 149–190.

Grieshop, C.M., Kadzere, C.T., Clapper, G.M., Flickinger, E.A., Bauer, L.L., Frazier, R.L., Fahey, G.C. J. 2003. Chemical and nutritional characteristics of United States soybeans and soybean meals. Agric. Food Chem, 51, pp.7684-7691.

Grzesiak, S., Filek, W., Skrudlik, G., Niziol, B. 1996. Screening for Drought Tolerance: Evaluation of Seed Germination and Seedling Growth for Drought Resistance in Legume Plants. J. Agron. Crop. Sci., 177, pp 245-252.

- Gomes-Júnior, R.A., Gratão, P.L., Gaziola, A.S., Mazzafera, P., Lea, P.J., Azevedo RA. 2007. Selenium-induced oxidative stress in coffee cell suspension cultures. *Funct. Plant Biol.*, 34, pp 449-456.
- Gulzar, S., and Khan, M.A. 2001. Seed germination of a halophytic grass *Aeluropus lagopoides*. *Annals of Botany*, 87, pp 319-324.
- Hadley, H.H., and Hymowitz, T. 1973. Speciation and cytogenetics. Soybeans, Production and Uses. B.E. Caldwell (ed.). Agronomy Series, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 97-116.
- Harb, Amal., Krishnan, Arjun., Madana, M.R. Ambavaram, and Andy Pereira. 2010. Molecular and Physiological Analysis of Drought Stress in *Arabidopsis* Reveals Early Responses Leading to Acclimation in Plant Growth. *Plant Physiol.* Nov; 154(3), pp 1254–1271. doi: 10.1104/pp.110.161752.
- Henderson, P. 1881. Henderson's Handbook of Plants. Henderson and Co., New York.
- Hicks, D.R. 1978. Growth and development. In: A.G. Norman (Ed.) *Soybean Physiology, Agronomy and Utilization*. New York Academic Press, pp 17-44.
- Hinson, K., and Hartwig, E.E. 1977. Soybean production in the tropics. *Plant Production and Protection*. Paper No. 4. AGPS MISC/35. FAO, Rome, Italy. pp 91.
- Hongtao, Ji., José M. Pardo, Giorgia Batelli, Michael J. Van Oosten, Ray A. Bressan, Xia Li. 2013. The Salt Overly Sensitive (SOS) Pathway: Established and Emerging Roles. *Molecular Plant* Volume 6, Issue 2, March 2013, pp 275-286. <https://doi.org/10.1093/mp/sst017>.
- Hymowitz, T. 1970. On the domestication of the soybean. *Econ. Bot.*, 24, pp 408-421.
- Hymowitz, T. 1990. Soybeans: the success story. In: J. Janick and J.E. Simon (Ed.) *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR, USA, pp 159-163.
- Hymowitz, T. 1995. "Evaluation of Wild Perennial Glycine Species and Crosses For Resistance to *Phakopsora*". In: Sinclair J.B. and Hartman G.L. (Ed.) *Proceedings of the Soybean Rust Workshop*. Urbana, IL: National Soybean Research Laboratory. pp 33–37.

Idrissi, O., Houasli, C., Udupa Sripada, M., Keyse, De Ellen, Patrick, Van Damme Riek, De Jan. 2015. Genetic variability for root and shoot traits in a lentil (*Lens culinaris* Medik.) recombinant inbred line population and their association with drought tolerance. 204, pp 693–709.

Κατράνης, Στ. Νικόλαος, 1989. Η Τεχνική της Καλλιέργειας. Εκδ. Ι.Δ. Τόλης: Η Σόγια. Σελ 83-109.

Kantolic, A.G., and Slafer, G.A. 2007. Development and Seed Number in Indeterminate Soybean as Affected by Timing and Duration of Exposure to Long Photoperiods after Flowering. *Ann Bot.*, 99 (5), pp 925–933.

Kaufmann, E., and Eckard, A. 1970. Evaluation of Water Stress Control with Polyethylene Glycols by Analysis of Guttation. *Plant Physiology*, 47, pp 453-456.

Kaya, M.D., Okçu, G., Atak, M., Çıkılı, Y., Kolsarıcı, Ö. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Eur. J. Agron.*, 24, pp 291-295.

Kaya, C., Tuna, A.L., Ashraf, M., Altunlu, H. 2007. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. *Environ. Exp. Bot.*, 60, pp 397-403.

Khajeh, H.M., Powell, A.A., Bingham, I.J. 2003. The interaction between salinity stress and seed vigor during germination of soya bean seeds. *Seed Sci. Technol.* 31: 715-725.

Knight, H., Trewavas, A.J., Knight, M.R. 1997. Calcium signalling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity, *Plant J.* 12, pp 1067–1078.

Kudou, S., Fleury, Y., Welti, D., Magnolato, D., Uchida, T., Kitamura, K., Okubo, K. 1991. *Agric. Biol. Chem.*, 55, pp 2227-2233.

Kpoghomou. B.K., Sapra T.V., Beyl, C.A. 1990. Screening for drought tolerance: Soybean germination and its relationship to seedling response. *J. Agron. And Crop Sci.*, 164, 153-159.

Lauchli, A., and Schubert, S. 1989. The role of calcium in the regulation of membrane and cellular growth processes under salt stress, NATO ASI Ser. G., 19, pp 131–137.

Lee, Gyoung-Ah, Crawford, Gary W., Liu, Li., Sasaki, Yuka, Chen, Xuexiang. 2015. Archaeological Soybean (*Glycine max*) in East Asia: Does Size Matter?" PLoS ONE 6 (11): e26720. doi:10.1371/journal.pone.0026720.

Levy-Booth, D.J., Gulden, R.H., Campbell, R.G., Powell, J.R., Klironomos, J.N., Pauls, K.P., Swanton, C.J., Trevors, J.T., Dunfield K.E. 2009. Roundup Ready soybean gene concentrations in field soil aggregate size classes. FEMS Microbiol Lett, 291, pp 175-179.

Lichtenthaler, H.K. 1996. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. J Plant Physiol., 148, pp 4-14.

Linnaeus, C. 1737. Genera Plantarum. Ed. 1. Lugduni Batavorum [Linnaeus, C. 1737a. Corollarium genera plantarum, exhibens genera plantarum sexaginta, addenda prioribus cgaracteribus, expositis in generis plantarum. Accedit Methodus Sexualis. Conrad Wishoff, Leiden.

Liu, K.S. 1997. Chemistry and Nutritional Value of Soybean Components. In: Soybean: Chemistry, Technology, and Utilization. New York: Chapman & Hall, pp 25-113.

Liu, J., and Zhu, K. J. 1998. A calcium sensor homolog required for plant salt tolerance, Science 280, pp 1943–1945.

Liu, F., Jensen C.R., Andersen, M.N. 2004. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. Field Crops Research, 86, pp 1–13.

Louis, P., and Galinski, E.A. 1997. Characterization of genes for the biosynthesis of the compatible solute ectoine from *Marinococcus halophilus* and osmoregulated expression in *E. coli*, Microbiology, 143, pp 1141– 1149.

Lonnerdal, B., Am. J. Clin. 2009. Nutr. 89, 1680S-5S.

Lusas, E.W. 2004. Soybean processing and utilization. In: Boerma, H.R. and J.E. Specht (Eds.) Soybeans: Improvement, production, and uses. 3rd edition, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, pp 949-1036.

Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J. 1995. Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46, pp 1843– 1852.

Lundry, D.R., Ridley, W.P., Meyer, J.J., Riordan, S.G., Nemeth, M.A., Trujillo, W.A., Breeze, M.L., Sorbet, R. 2008. Composition of grain, forage, and processed fractions from second-gene-ration Glyphosate-tolerant soybean, MON 89788, is equivalent to that of conventional soybean (*Glycine max* L.). *J Agric Food Chem*, 56, pp 4611-4622.

Maaroufi-Dguimi, H., Debouba, M., Gaufichon, L., Clément, G., Gouia, H., Hajjaji, A. et al. 2011. An Arabidopsis mutant disrupted in ASN2 encoding asparagine synthetase 2 exhibits low salt stress tolerance. *Plant Physiol. Biochem*, 49, pp 623-628.

Magness, J.R., Markle, G.M., Compton, C.C. 1971. Food and feed crops of the United States. Interregional Research Project IR-4. IR Bul 1, (Bul.828 New Jersey Agricultural Experiment Station).

Mahajan, Shilpi and Tuteja, Narendra. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444(2), pp 139–158.

Mayaki, W.C., Teare, I.D., Stone, L.R. 1976. Top and Root Growth of Irrigated and Nonirrigated Soybeans. *Crop Science*, 16 (1), pp 92-94.

McCue, K.F., and Hanson A.D. 1990. Drought and salt tolerance: towards understanding and application, *Biotechnology* 8, pp 358–362.

McWilliams, D.A., Berglund, D.R., Endres, G.J. 1999. Soybean growth and management Quick Guide, A-1174. North Dakota State University, University of Minnesota.

- Merill, E.D. 1917. An Interpretation of Rumphius's Herbarium Amboinense. Department of Agriculture and Natural Resources Bureau of Science Publication 9. Manila.
- Mhamdi, A., Mauve, C., Gouia, G., Saindrenan, P., Hodeges, M., Noctor, G. 2010. Cytosolic NADP-dependent isocitrate dehydrogenase contributes to redox homeostasis and the regulation of pathogen responses in *Arabidopsis* leaves. *Plant Cell Environ*, 33, pp 1112-1123.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Science*, 7, pp 405-410.
- Mohammadkhani Nayer, and Heidari, Reza. 2008. Water Stress Induced by Polyethylene Glycole 6000 and Sodium Chloride in Two Maize Cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11, pp 92-97.
- Monteiro, C.C., Carvalho, R.F., Gratão, P.L., Carvalho, G., Tezotto, T., Médici, L.O., et al. 2011. Biochemical responses of the ethylene-insensitive *Never ripe* tomato mutant subjected to cadmium and sodium stresses. *Environ. Exp. Bot.*, 71, pp 306-320.
- Mujeeb-ur-Rahman., Umed Mohammad A. S., Shereen G. Z. 2008. Effects of NaCl Salinity on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(3), pp 398-403.
- Murillo, A.B., Lopez, A.R., Kaya, C., Larrinaga, M.J., Flores, H.A. 2002. Comparative effects of NaCl and polyethylene glycol on germination, emergence and seedling growth of cowpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188, pp 235–247.
- Muscolo, Adele., Sidari, Maria., Anastasi, Umberto., Santonoceto, Carmelo., and Maggio Albino. 2013. Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions*, 2014 Vol. 9, No. 1, 354 363, <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2013.835880>.

- Nelson, C.J., and Larson K.L. 1984. Seedling growth. In: Tesar, M.B. (Ed.) Physiological basis of crop growth and development. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, pp 93–129.
- Neto, E.B., and Nogueira, R.J.M.C. 1999. Compatative study of tomato and maize plant growth under different salt conditions. Braz. Arch. Biol. Technol., 42, pp 471-475.
- Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. Plant Cell Environ. 20, pp 1193-1198.
- Newell, C.A., and Hymowitz, T. 1983. “Hybridization in the Genus Glycine Subgenus Glycine Wild. (Leguminosae, Papilionoideae)”. American Journal of Botany (Botanical Society of America), 70 (3), pp 334-348.
- Noctor, G. 2006. Metabolic signaling in defence and stress: the central roles of soluble redox couples. Plant Cell Environ., 29, pp 409-425
- Niu, X., Bressan, R.A., Hasegawa, M. P. 1995. J.M. Pardo, Ion homeostasis in NaCl stress environments, Plant Physiol., 109, pp 735–742.
- Oertli, J.J., 1985. The response of plant cells to different forms of moisture stress. J.Plant Physiol., 121, pp 295-300.
- Ouji, Ali, Safia, El-Bok, Mouelhi, Mohieddine, Younes Mongi Ben, Kharrat Mohamed. 2015. Effect of salinity stress on germination of five Tunisian Lentil (LENS CULINARIS L.) genotypes. European Scientific Journal July 2015 edition vol.11, No.21 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- Ozawa, Y., Sato, H., Nakatani, A., Mori, O., Hara, Y., Nakada, Y., Akiyama, Y., Morinaga, Y. J. 2001. Oleo Sci., 50, pp 217-223.
- Παπακώστα-Τασοπούλου, Δ. 2005. Ψυχανθή: Καρποδοτικά – Χορτοδοτικά. Ειδική Γεωργία Ι (Τεύχος Β'). Εκδ. Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη, σελ 211-238.
- Padgett, R.S., Re, B.D., Barry, F.G., Eichholtz, E.D., Delannay, X., Fuchs, L.R., Kishore, M.G., Fraley, T.R. 1996. New weed control opportunities: Development of soybeans with Roundup Ready gene. In Duke, S.O. (Ed.) Herbicide Resistant Crops:

Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory and Technical Aspects. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 53-84.

Palmer, R.G., and Hymowitz, T. 2004. Soybean: Germplasm, breeding, and genetics. In: Wrigley, C., Corke, H. and Walker, C. (Eds.) Encyclopedia of Grain Science. Elsevier Science Ltd. London, UK, pp 136-146.

Qu, C., Liu, C., Ze, Y., Gong, X., Hong, M., Wang, L., et al. 2011. Inhibition of nitrogen and photosynthetic carbon assimilation of maize seedlings by exposure to a combination of salt stress and potassium-deficient stress. Biol. Trace Elem. Res., 144, pp 1159-1174.

Queval, G., Jaillard, D., Zechmann, B., Noctor, G. 2011. Increased intracellular H₂O₂ availability preferentially drives glutathione accumulation in vacuoles and chloroplasts. Plant Cell Environ., 34, pp 21-32.

Ρουμπελάκη- Αγγελάκη, Κ.Α. 2003. “Φυσιολογία Φυτών –από το μόριο στο περιβάλλον”.

Rosegrant, M.W., and Cline, S.A. 2003. Global food security: challenges and policies. 12;302(5652), pp 1917-9.

Rozema, J., and Flowers, T. 2008. Crops for a Salinized World. Science. Vol. 322, Issue 5907, pp. 1478-1480.

Renault, H., Roussel, V., El Amrani, A., Arzel, M., Renault, D., Bouchereau, A. et al., 2010. The Arabidopsis pop2-1 mutant reveals the involvement of GABA transaminase in salt stress tolerance. BMC Plant Biol. pp 10: 20 (on line).

Rech, E.L., Vianna, G.R., Aragão, F.J.L. 2008. High-efficiency transformation by biolistics of soybean, common bean and cotton transgenic plants. Nat Protoc., 3, pp 410-418.

Sadeghi, H, Khazaei, F, Yari, L, Sheidaei, S. 2011. Effect of seed osmopriming on seed germination behavior and vigor of soybean (Glycine max). J. Agric. Biol. Sci., 6, pp 39-40.

Saio, K., Yamagishi T., Yamauchi F. 1986. Cereal Chem., 63, pp. 493-496.

Sakthivelu, G., Devi Akitha, K.M., Giridhar, P., Rajasekaran, T., Ravishankar, G. A., Nedev, T., Kosturkova, G. 2008. Drought – Induced Alterations in Growth, Osmotic Potential and In Vitro Regeneration of Soybean Cultivars. *Gen. Appl. Plant Physiology*, Special Issue, 34 (1-2), pp 103-112.

Sato, T., Onoma, N., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Ohyama, T. 2001. Changes in four leghemoglobin components in nodules of hypernodulating soybean (*Glycine max [L] Merr.*) mutant and its parent in the early nodule developmental stage. *Plant and Soil*, 237, pp 129-135.

Schroeder, P. 2001. The role of glutathione and glutathione S-transferases in plant reaction and adaptation to xenobiotics. *Significance of Glutathione to Plant Adaptation to the Environment*, pp 155-183.

Shurtleff, William and Aoyagi, Akiko. 2012. History of Soybeans and Soyfoods in South America (1882–2009). Soy Info Center. ISBN 978-1-928914-23-5. Retrieved February 18.

Shurtleff, William and Aoyagi, Akiko. 2013. History of Whole Dry Soybeans, Used as Beans, or Ground, Mashed or Flaked (240 BCE to 2013). Lafayette, California., pp. 950.

Shurtleff, W. and Aoyagi, A. 2015. "History of Soybeans and Soyfoods in Austria and Switzerland (1781-2015)." Lafayette, California: Soyinfo Center. pp. 705 (1444 references; 128 photos and illustrations). Free online. ISBN 978-1-928914-77-8.

Schwarcz, Joe. 2004. The Fly in the Ointment: 63 Fascinating Commentaries on the Science of Everyday Life. ECW Press. p. 193. ISBN 978-1-55022-621-8.

Silveira, J.A.G., Melo, A.R.B., Viégas, R.A., Oliveira, J.T.A. 2001. Salinity-induced effects on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. *Environ. Exp. Bot.*, 46, pp 171-179.

Silveira, J.A.G., Viégas, R.D., Rocha, I.M.A., Moreira, A.C.D.M., Moreira, R.D., Oliveira, J.T.A. 2003. Proline accumulation and glutamine synthetase activity are increased by salt-induced proteolysis in cashew leaves. *J. Plant Physiol.*, 160, pp 115-123.

Singh, R.J., and Hymowitz, T. 1988. The genomic relationship between *Glycine max* (L.) Merr. and *G. soja* Sieb. and Zucc. as revealed by pachytene chromosome analysis. *Nov*, 76(5), pp 705-11. doi: 10.1007/BF00303516.

Singh, R.J., and Hymowitz, T. 1999. Soybean Genetic Resources and Crop Improvement. *Genome*, 42, 605-616. <http://dx.doi.org/10.1139/g99-039>.

Singh, R.J., Nelson, R.L., Chung, G. 2006. Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Oilseed Crops, Vol. 4. London: Taylor & Francis, pp 15.

Singh, G. 2010. The Soybean: Botany, Production and Uses. CAB International.

Slama, Inès., Abdely, Chedly., Bouchereau, Alain., Flowers, Tim., Savouré, Arnould. 2015. Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany*, Volume 115, Issue 3, pp 433–447, <https://doi.org/10.1093/aob/mcu239>.

Smith, K.J. 1989. “Importance of Soybean Meal in World Feed Markets”. In A.J. Pascale (Ed.) *World Soybean Research Conference IV*, Buenos Aires.

Soltis, P., Doyle, J., Soltis, D. 1993. Molecular data and polyploid evolution in plants. In: Soltis P., Soltis D., Doyle J. (Ed.) *Molecular systematics of plants*. Routledge, Chapman and Hall. New York, NY, USA, pp 177-201.

SoyStats. 2013. A Reference Guide to Important Soybean Facts & Figures. A publication of the American Soybean Association. (http://soystats.com/wp-content/uploads/ASA_SoyStats_fnl.pdf)

Souza, C.A.F. and Sodek, L. 2003. Alanine metabolism and alanine aminotransferase activity in soybean (*Glycine max*) during hypoxia of the root system and subsequent return to normoxia. *Environ. Exp. Bot.*, 50, pp 1-8.

Sugano, M., Ed. 2006. *Soy in Health and Disease Prevention*, CRC Press, FL, USA.

Surabhi, G-K, Reddy, A.M., Kumasi, G.J., Sudhakar, C. 2008. Modulations in key enzymes of nitrogen metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with differential sensitivity to salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 64, pp 171-179.

Τόλης, Ι.Δ. και Πάνος, Ε. 1989. Ιστορικό και σημερινή παγκόσμια κατάσταση. Στο βιβλίο ‘‘Η Σόγια’’, σελ. 1-8, εκδότης Τόλης, Ι.Δ

Töpfer, R. and Martin, N. 1994. Molecular cloning of cDNAs or genes encoding proteins involved in de novo fatty acid biosynthesis in plants. J. Plant Physiol., 143, pp 416-425.

Türkan, I. and Demiral, T. 2009. Recent developments in understanding salinity tolerance. Environ. Exp. Bot., 67, pp 2-9.

USDA, ARS, National Genetic Resources Program, 2014. *Germplasm Resources Information Network - (GRIN)*. Distribution of Values for: Oleic in SOYBEAN. (04 November 2014) [Online Database] National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland.

Ungar, I.A. 1996. Effects of salinity on seed germination, growth, and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). Amer.J.Bot.,83, pp 62-67.

Wang, W., Vinocur, B., Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, *Planta* 218, pp 1–14.

Wilson, R.F. 2004. Seed composition. In: H.R. Boerma, J.E. Specht (Eds.) *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*, Vol 3. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp 621–677.

Whigham, D.K. 1983. Soybean. In: International Rice Research Institute (Ed.) *Potential productivity of field crops under different environments*. IRR, Los Banos, Philippines. pp 205-225.

Wyn, Jones R., Storey, R., Leigh, R.A., Ahmad, N., Pollard, A. 1977. A hypothesis on cytoplasmic osmoregulation. In: Marre E Ciferri O. eds. *Regulation of cell membrane activities in plants*. Amsterdam: Elsevier/North Holland, pp 121–136.

Yancey, P.H. 2005. Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. *Journal of Experimental Biology*, 208, pp 2819–2830.

Yeo, A.R. 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of wholeplant physiology. *J. Exp. Bot.* 49, pp 915–929.

Zhang Xuekun, Guangyuan, Lu., Long, Weihua., Zou Xiling., Li Feng, and Takeshi Nishio. 2014. Recent progress in drought and salt tolerance studies in Brassica crops. *Breed Sci. May*, 64(1), pp 60–73. doi: 10.1270/jsbbs.64.60.

Zheng, Y., Wang, Z., Sun, X., Jia A., Jiang, G., Li, Z. 2008. Higher salinity tolerance cultivars of winter wheat relieved senescence at reproductive stage. *Environ. Exp. Bot.*, 62, pp 129-138.

Zhu, J.K., Liu, J., Xiong, L. 1998. Genetic analysis of salt tolerance in *Arabidopsis*. Evidence for a critical role of potassium nutrition, *Plant Cell*, 10, pp 1181–1191.

Zhu, J.K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 53, pp 247–273.

Zhu, J.K. 2016. Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants. *Cell* 167, October 6. pp 313-324.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία:

<http://soystats.com/biodiesel-u-s-production-history/>

<http://www.fao.org>

<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/intro.htm>.

<http://www.isaaa.org>

www.usda.gov

<http://www.mihail-fas.gr/en/seeds/soybean/item/290-zora>

<http://www.mihail-fas.gr/en/seeds/soybean/item/291-neoplanta>

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029>.

http://soystats.com/wp-content/uploads/ASA_SoyStats_fnl.pdf

<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/obvalue.pl?51068>